Н А У Ч Н О - Т Е Х Н И Ч Е С К И Й

В Е С Т Н И К

П О В О Л Ж Ь Я

№5 2018

Направления:

01.01.00 — ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИКА

02.00.00 — ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

05.02.00 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

05.11.00 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

05.13.00 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Казань

2018

УДК 60
ББК 30-1
Н-66

Н-66 Научно-технический вестник Поволжья. №5 2018г. – Казань: Научно-технический вестник Поволжья, 2018. – 292 с.

ISSN 2079-5920

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-5

Журнал зарегистрирован в Управлении Федеральной службы по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций ПИ № ФС77-41672 от 13 августа 2010г.

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» № 12025.

Главный редактор Р.Х. Шагимуллин

Редакционная коллегия

С.В. Анаников – д.т.н., проф.; *Т.Р. Дебердеев* – д.т.н., проф.; *Б.Н. Иванов* – д.т.н., проф.; *В.А. Жихарев* – д.ф-м.н., проф.; *В.С. Минкин* – д.х.н., проф.; *А.Н. Николаев* – д.т.н, проф.; *В.К. Половняк* – д.х.н., проф.; *П.П. Суханов* – д.х.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

СОДЕРЖАНИЕ

В.С. Минкин, Т.Ю. Старостина, Р.Х. Шагимуллин ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ СЕРЫ НА ИЗМЕНЕНИЕ ХИМИЧЕСКИХ СДВИГОВ СПЕКТРОВ ЯМР В ПРОМЫШЛЕННЫХ ПОЛИСУЛЬФИДНЫХ ОЛИГОМЕРАХ 11

01.01.00 — ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИКА

И.Х. Еникеев ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДА КРАМЕРА ДЛЯ РЕШЕНИЯ МНОГОПАРАМЕТРИЧАСКИХ СИСТЕМ АЛГЕБРАИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ 13
А.С. Калитвин, А.И. Иноземцев О НЕТЕРОВОСТИ, ФРЕДГОЛЬМОВОСТИ И ОБРАТИМОСТИ ЛИНЕЙНЫХ ОПЕРАТОРОВ И УРАВНЕНИЙ С МНОГОМЕРНЫМИ ЧАСТНЫМИ ИНТЕГРАЛАМИ 17
А.С. Калитвин, А.И. Иноземцев О НЕТЕРОВОСТИ, ФРЕДГОЛЬМОВОСТИ И ОБРАТИМОСТИ ДВУХ КЛАССОВ ЛИНЕЙНЫХ ОПЕРАТОРОВ И УРАВНЕНИЙ С МНОГОМЕРНЫМИ ЧАСТНЫМИ ИНТЕГРАЛАМИ 22
А.С. Калитвин, В.А. Калитвин О ПРИБЛИЖЁННОМ РЕШЕНИИ ЛИНЕЙНОГО ЧАСТИЧНО ИНТЕГРАЛЬНОГО УРАВНЕНИЯ РОМАНОВСКОГО 25
Н.И. Попова, Ю.В. Швец, Н.В. Миллер, Т.В. Хомченко О НЕКОТОРЫХ ПРЕДСТАВЛЕНИЯХ ИНТЕГРАЛА ФРЕНЕЛЯ 29
Н.И. Трусова ОБ ОДНОМ КЛАССЕ СИСТЕМ ЛИНЕЙНЫХ УРАВНЕНИЙ ТИПА РОМАНОВСКОГО С ЧАСТНЫМИ ИНТЕГРАЛАМИ 35

02.00.00 — ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

А.Ю. Балкизова, М.Р. Тохов, С.М. Малухова, Ж.А. Кочкаров ТРЕХКОМПОНЕНТНАЯ СИСТЕМА KCl – K2WO4 – PbWO4 38
А.В. Быков, Г.Н. Демиденко СТАБИЛИЗАЦИЯ КЛАСТЕРОВ Pd4 И Pd4H2 В АРОМАТИЧЕСКИХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТРИЦАХ 41
Х.Б. Кушхов, В.В. Хасанов, Е.Р. Губжокова, Р.М. Кушхова, Р.А. Мукожева, М.Р. Тленкопачев СИНТЕЗ МОЛИБДАТА И ВОЛЬФРАМАТА САМАРИЯ ИЗ ГАЛОГЕНИДНО-ОКСИДНЫХ РАСПЛАВОВ 45
Н.В. Лакина, А.И. Головко, В.Ю. Долуда, В.Г. Матвеева, Г.Ю. Рабинович ВЛИЯНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА СОВМЕСТНЫЙ РОСТ МИКРООРГАНИЗМОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ БИОТОПЛИВА 48
Н.В. Лебедева, Г.Н. Кошель СИНТЕЗ о-ДИКАРБОНОВЫХ КИСЛОТ БИФЕНИЛА НА ОСНОВЕ о-КСИЛОЛА И ЦИКЛОГЕКСАНОЛА 51
Н.А. Немыгина, Л.Ж. Никошвили, А.В. Быков, Э.М. Сульман, L. Kiwi-Minsker МНОГООБРАЗИЕ ФОРМ ПАЛЛАДИЯ, СТАБИЛИЗИРОВАННЫХ СВЕРХСШИТЫМ ПОЛИСТИРОЛОМ, И ИХ ВЛИЯНИЕ НА АКТИВНОСТЬ КАТАЛИЗАТОРОВ КРОСС-СОЧЕТАНИЯ СУЗУКИ 55
А.А. Степачёва, М.Е. Маркова, А.В. Гавриленко, В.Г. Матвеева, М.Г. Сульман, Э.М. Сульман Ni-СОДЕРЖАЩИЙ КАТАЛИЗАТОР ДЛЯ ДЕОКСИГЕНИРОВАНИЯ ЖИРНЫХ КИСЛОТ 59
Б.Б. Тихонов, П.Ю. Стадольникова, А.И. Сидоров, Э.М. Сульман ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА И УСЛОВИЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ МУЛЬТИФЕРМЕНТНОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ОКСИДОРЕДУКТАЗ 62
В.В. Хасанов, Т.А. Борукаев, Л.А. Мусаева, А.А. Кяров ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИНТЕЗИРОВАННОГО ZnMoO4 В КАЧЕСТВЕ ДЫМОГАСИТЕЛЯ ДЛЯ ПВХ КАМПАУНДОВ 66
Е.И. Шиманская, Э.М. Сульман, М.Г. Сульман КАТАЛИТИЧЕСКАЯ ГИДРОПЕРЕРАБОТКА ЛИГНИНА В ПРИСУТСТВИИ 3%RU, НАНЕСЕННОГО НА СВЕРХСШИТЫЙ ПОЛИСТИРОЛ 70

05.02.00 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

Аббаварам Ревант Редди, В.Г. Нестеренко КОНСТРУКТИВНЫЕ МЕТОДЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КРИТИЧНЫХ УЗЛОВ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ТВД АВИАЦИОННЫХ ГТД 73
А.П. Буйносов, И.С. Цихалевский СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ЛОКОМОТИВОВ 78
А.А. Владимиров, А.П. Сергиев, А.В. Макаров МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВИБРАЦИОННОГО ТОЧЕНИЯ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ DEFORM 82
И.А. Корин ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В КАНАЛЕ С ОБРАЗЦОМ РЕЗОНАНСНОЙ ЗПК 86
Я.А. Мишин, А.П. Буйносов РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ НАЛИЧИЯ УНИПОЛЯРНОЙ ИНДУКЦИИ В ТЯГОВОМ ДВИГАТЕЛЕ ЭЛЕКТРОВОЗА ПОСТОЯННОГО ТОКА 90
В.П. Новоселов, М.Д. Лукашук ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ НАГРУЗОК В НОВОЙ РАБОЧЕЙ КЛЕТИ СТАНА ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКИ ТРУБ 93
И.Ю. Смирнова, Д.А. Феоктистова, Д.Г. Алленов АКТУАЛИЗАЦИЯ МЕТОДОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА СТАНОЧНОГО ПАРКА 96
В.С. Тынченко, Д.Д. Мешков, В.В. Тынченко, В.В. Бухтояров УСТАНОВКА ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ РАБОЧЕЙ ЖИДКОСТИ КОМПРЕССОРА НЕФТЕПЕРЕКАЧИВАЮЩЕЙ СТАНЦИИ 99

05.11.00 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

И.И. Батыршин, О.Г. Морозов, А.А. Иванов, А.Ж. Сахабутдинов, А.А. Тяжелова, Л.М. Сарварова АНАЛИЗ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ МГНОВЕННОЙ ЧАСТОТЫ СВЧ-СИГНАЛОВ В БРИЛЛЮЭНОВСКИХ РАДИОФОТОННЫХ СИСТЕМАХ 102
Н.Н. Беспалов, Ю.В. Горячкин, А.В. Зорькин ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ ТИРИСТОРОВ В РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ ИСПЫТАНИЯ 105
Н.Н. Беспалов, Ю.В. Горячкин, К.Ю. Панькин МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРЯМЫХ ВОЛЬТ-АМПЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДИОДНЫХ СТРУКТУР МИКРОСХЕМЫ КТ101 109
Н.Н. Беспалов, М.В. Ильин, А.В. Мускатиньев АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ СИЛОВЫХ ТИРИСТОРОВ И ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЦЕПИ УПРАВЛЕНИЯ 113
Н.Н. Беспалов, А.В. Мускатиньев ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ПРЯМОГО ПАДЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ НА СИЛОВЫХ ТИРИСТОРАХ И ДИОДАХ 116
Н.Н. Беспалов, А.В. Мускатиньев, П.М. Дёмкин УПРАВЛЯЕМЫЙ ГЕНЕРАТОР ИМПУЛЬСОВ НАПРЯЖЕНИЯ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ СИЛОВЫХ ТИРИСТОРОВ В СОСТОЯНИИ ВЫСОКОЙ ПРОВОДИМОСТИ 119
В.В. Киселев, В.Н. Осколков КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ НА ЭТАПАХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ 122
И.В. Нелин, М.К. Седанкин, В.А. Скуратов РАДИОТЕРМОМЕТРИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ОБСЛЕДОВАНИЯ ГОЛОВНОГО МОЗГА 125
В.В Паничев, Н.А. Соловьев, А.М. Семенов АЛГОРИТМ ОБНАРУЖЕНИЯ ОПТИЧЕСКИХ ИМПУЛЬСНЫХ СИГНАЛОВ В УСЛОВИЯХ ФОНОВЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ 129
П.В. Писарев, А.Н. Аношкин, А.Г. Захаров, К.А. Максимова, В.А. Ашихмин ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗПК СО СКАЛДЧАТЫМ ЗАПОЛНИТЕЛЕМ 133
П.В. Писарев, А.Г. Захаров, А.Н. Аношкин, Н.А. Мерзлякова ЧИСЛЕННЫЙ РАСЧЕТ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЯЧЕЕК ЗПК СКЛАДЧАТОЙ ФОРМЫ 136

О.И. Поддаева, А.Н. Федосова, С.А. Саврасов, А.Т. Каграманян ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЕТРОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ В АЭРОДИНАМИЧЕСКОЙ ТРУБЕ С МАЛОЙ РАБОЧЕЙ ЧАСТЬЮ 140
Т.Р. Сахбиев ОПТИЧЕСКИЕ ВЕКТОРНЫЕ АНАЛИЗАТОРЫ СЕТЕЙ СИММЕТРИЧНОГО ТИПА 144
А.С. Шарафутдинов, Ю.И. Шакиров, Р.И. Валиев, А.А. Хафизов, Л.Н. Дрогайлова ПОТЕНЦИАЛ РАЗВИТИЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН 148
А.Г. Шляхова, А.Т. Шляхов, Ю.Б. Греков ИЗМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ ПЛЕНОК PbSnTe ПРИ ОБЛУЧЕНИИ ИНФРАКРАСНЫМ ЛАЗЕРОМ 153

05.13.00 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

А.И. Акимов, И.А. Акимов, В.А. Урбан ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ, РАСЧЕТНЫХ ФОРМУЛ ТЕПЛООБМЕНА НА ТРЕТЬЕМ ЭТАПЕ ПРОИЗВОДСТВА МНОГОСЛОЙНЫХ КОНСТРУКЦИЙ СФЕРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ МЕТОДОМ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ 157
Г.Ф. Ахмедьянова, Т.А. Пищухина, А.М. Пищухин МЕТАСИСТЕМНАЯ ЗАДАЧА УПРАВЛЕНИЯ ГОТОВНОСТЬЮ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ К ФУНКЦИОНИРОВАНИЮ 161
В.Ю. Бегенеев, И.А. Шмидт, В. Krause ПОДХОД DATA MINING ДЛЯ ЗАДАЧИ КЛАССИФИКАЦИИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА 165
М.В. Беленко, П.В. Балакшин АВТОМАТИЗАЦИЯ ПОРТИРОВАНИЯ ПРИЛОЖЕНИЙ МЕЖДУ СИСТЕМАМИ РАСПОЗНАВАНИЯ РЕЧИ 169
С.В. Бочкарев, Р.Р. Хисамов ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УСТРОЙСТВ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ ТЕРМИНАЛОВ В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ 172
В.С. Быков, П.В. Балакшин ИССЛЕДОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ ТЕЛЕФОННЫХ СЛУЖБ ПОДДЕРЖКИ КЛИЕНТОВ 176
Т.В. Гаибова МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ОПТИМАЛЬНОЙ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ФАЗЫ ИНВЕСТИЦИОННОГО ПРОЕКТА 179
В.В. Гаряева АВТОМАТИЗАЦИЯ МОНИТОРИНГА СТРОИТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ УДАЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ 183
В.В. Гаряева АВТОМАТИЗАЦИЯ СИНХРОНИЗАЦИИ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ ДАННЫХ BIM-МОДЕЛИ ЗДАНИЯ НА БАЗЕ RFID ТЕХНОЛОГИИ 186
А.В. Гинзбург, О.Н. Кузина, А.И. Рыжкова ЕДИНАЯ СИСТЕМА МАРКИРОВКИ РЕСУРСОВ КАК СПОСОБ РАЗВИТИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ 189
Д.В. Горбачев МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ ИНФОРМАЦИОННО-ПОИСКОВОЙ СИСТЕМЫ ЛЕКАРСТВЕННЫХ ПРЕПАРАТОВ 193
Д.А. Даденков, Е.М. Солодкий, О.Р. Гусманов АВТОМАТИЗАЦИЯ ПОИСКА ДЕФЕКТОВ БУМАЖНОГО ПОЛОТНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМЫ МАШИННОГО ЗРЕНИЯ 197
Т.А. Деменкова, А.А. Финенко, Д.Д. Яровов АЛГОРИТМ СВЕРТКИ ДЛЯ ЗАДАЧИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ 200
А.В. Иващенко, С.А. Корчивой МОДЕЛЬ ИНФРАСТРУКТУРНОГО ВОЗВРАТА В ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКЕ 204
А.В. Иващенко, П.В. Ситников, О.Л. Сурнин АКЦЕНТНАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ В СИТУАЦИОННЫХ ЦЕНТРАХ 208
А.Н. Илюхин, Ш.А. Хамадеев, Ш.Ш. Хузятов ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ ДИЗЕЛЕМ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ 211
А.Н. Илюхин, Ш.Ш. Хузятов, Р.А. Валиев МЕТОДИКА РАЗРАБОТКИ СИСТЕМЫ ДИСПЕТЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ ОБЪЕКТОВ НЕФТЕДОБЫЧИ 214

В.П. Казанцев, Д.А. Даденков, Е.О. Копылов МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА СЕТОЧНОЙ ЧАСТИ БУМАГОДЕЛАТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ 217
А.Д. Кирьянов, А.Н. Лыков ПРИМЕНЕНИЕ СТАНДАРТА МЭК 61850 В СИСТЕМЕ СБОРА И ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ 220
А.А. Кольчурин, А.В. Трусов, В.А. Трусов ПОДХОДЫ И МЕХАНИЗМЫ ФОРМИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ НАУЧНОГО И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ ТЭК 223
А.Д. Курзанов, Ю.А. Русских АЛГОРИТМЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ПОДДЕРЖКИ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ ПРОИЗВОДСТВА НЕАВТОКЛАВНОГО ГАЗОБЕТОНА 226
С.Д. Мезенцев, А.Н. Лыков РЕАЛИЗАЦИЯ ЦИФРОВОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПОДСТАНЦИИ НА БАЗЕ ОТЕЧЕСТВЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ 229
В.А. Меньшенин, А.Н. Лыков АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМОЙ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА 232
М.В. Овечкин, М.А. Корнипаев, Ю.И. Овечкина АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО КОНТРОЛЯ СПЛОШНОСТИ ИЗДЕЛИЙ НА ОСНОВЕ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПЛАСТИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЙ 236
А.В. Парамонов РАСШИРЕННЫЕ СРЕДСТВА ДЕКЛАРАТИВНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ ЛОГИЧЕСКИХ КОНТРОЛЛЕРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИЗУАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ 239
П.А. Пуеров, А.Н. Лыков ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ИНВЕРТОРЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ 242
А.В. Рыбина, В.В. Гаряева АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОГРАММ МОДЕЛИРОВАНИЯ 3D-ОБЪЕКТОВ В СТРОИТЕЛЬНОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ 246
Ю.С. Сахалтуева, В.С. Тынченко, В.В. Тынченко, В.В. Бухтояров МЕТОД ПОИСКА ДУБЛИРУЮЩИХ ОБЪЯВЛЕНИЙ НА ПОРТАЛЕ НЕДВИЖИМОСТИ 250
Д.А. Селиванова, Ф.А. Попов, М.Н. Школьникова, О.А Бубарева РЕЗУЛЬТАТЫ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ НАПИТКОВ 253
Ю.С. Тарасова, В.В. Андреев, Е.А. Мартемьянова ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВИЗУАЛЬНОЙ МАССЫ ДОМИНИРУЮЩИХ ЦВЕТОВЫХ СОЧЕТАНИЙ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА КВАЗИПРОСТРАНСТВЕННОЙ МОДЕЛИ 256
А.В. Трусов, А.А. Кольчурин РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ СИСТЕМЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ НАУЧНОГО И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ ТЭК 260
Ш.А. Хамадеев, А.Н. Илюхин МЕТОДИКА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ НА ОСНОВЕ ПРЕЦЕДЕНТОВ ПО УСТРАНЕНИЮ НЕСООТВЕТСТВИЙ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ПОЛИАМИДНЫХ ТРУБОК 264
М.В. Ходько БАЗОВЫЕ ПРИНЦИПЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ 267
И.А. Шмидт, Р.Р. Нарбеков, А.С. Монахов, К.Д. Бахтерева СЕРВИСНАЯ ПРОГРАММА ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПОЛУНАТУРНЫХ ИСПЫТАНИЙ 271

АННОТАЦИИ 274

THE RELEASE MAINTENANCE

V.S. Minkin, T.Yu. Starostina, R.Kh. Shagimullin EFFECT OF SULFUR CONTENT ON CHANGE OF CHEMICAL SHIFTS OF NMR SPECTRA IN INDUSTRIAL POLYSULPHIDE OLIGOMERS 11

01.01.00 — PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES — MATHEMATICS

I.X. Enikeev OPTIMAL CHOICE OF THE METHOD FOR INVESTIGATING MULTIPARAMETER SISTEMS OF LINEAR AND NONLINEAR ALGEBRAIC EQUATIONS 13
A.S. Kalitvin, A.I. Inozemtsev ON THE NOETHER, FREDHOLM AND INVERTIBILITY PROPERTIES OF OPERATORS AND EQUATIONS WITH MULTIDIMENSIONAL PARTIAL INTEGRALS 17
A.S. Kalitvin, A.I. Inozemtsev ON THE NOETHER, FREDHOLM AND INVERTIBILITY PROPERTIES OF TWO CLASSES OF OPERATORS AND EQUATIONS WITH MULTIDIMENSIONAL PARTIAL INTEGRALS 22
A.S. Kalitvin, V.A. Kalitvin ON THE APPROXIMATE SOLUTION OF ROMANOVSKIJ PARTIALLY INTEGRAL EQUATIONS 25
H.I. Popova, Y.V. Shvets, N.V. Miller, T.V. Homchenko ON SOME REPRESENTATIONS OF FRESNEL INTEGRALS 29
N.I. Trusova ON THE ONE CLASS SYSTEMS OF ROMANOVSKIJ TYPE LINEAR EQUATIONS WITH PARTIAL INTEGRALS 35

02.00.00 — CHEMICAL SCIENCES

A.Yu. Balkizova, M.R. Tokhov, S.M. Malukhova, J.A. Kochkarov THREE-COMPONENT SYSTEM KCl - K2WO4 - PbWO4 38
A.V. Bykov, G.N. Demidenko STABILIZATION OF Pd4 AND Pd4H2 CLUSTERS IN THE AROMATIC POLYMER MATRICES 41
Kh.B. Kushkhov, V.V. Khasanov, E.R. Gubzhokova, R.M. Kushkhova, R.A. Mukozheva, M.R. Tlenkopachev THE ELECTROSYNTHESIS OF SAMARIUM MOLYBDATES AND TUNGSTANATES FROM HALIDE-OXIDE MELTS 45
N.V. Lakina, A.I. Golovko, V.Yu. Dolud, G.Yu. Rabinovich INFLUENCE OF PHYSICO-CHEMICAL PARAMETERS ON THE JOINT GROWTH OF MICROORGANISMS USED IN THE PRODUCTION OF BIOFUELS 48
N.V. Lebedeva, G.N. Koshel SYNTHESIS OF o-DICARBONIC ACIDS BIPHENYL BASED ON o-XYLENE AND CYCLOHEXANOL 51
N.A. Nemygina, L.Zh. Nikoshvili, A.V. Bykov, E.M. Sulman, L. Kiwi-Minsker DIVERSITY OF PALLADIUM FORMS STABILIZED WITH HYPERCROSSLINKED POLYSTYRENE AND THEIR INFLUENCE ON ACTIVITY OF THE CATALYSTS OF SUZUKI CROSS-COUPLING 55
A.A. Stepacheva, M.E. Markova, A.V. Gavrilenko, V.G. Matveeva, E.M. Sulman, M.G. Sulman Ni-CONTAINING CATALYST FOR FATTY ACID DEOXYGENATION 59
B.B. Tikhonov, P.Yu. Stadolnikova, A.I. Sidorov, E.M. Sulman OPTIMIZATION OF STRUCTURE AND OPERATING CONDITIONS OF MULTIFERMENTAL SYSTEM ON THE BASIS OF OXIDOREDUCTASES 62
V.V. Khasanov, T.A. Borukaev, L.A. Musaeva, A.A. Kyarov A STUDY OF THE EFFECTIVENESS OF THE USE OF SYNTHESIZED ZnMoO4 AS A FIRE EXTINGUISHER FOR PVC CAMPAIGNS 66
E.I. Shimanskaya, E.M. Sulman, M.G. Sulman CATALYTIC HYDROTREATMENT OF LIGNIN IN THE PRESENCE OF 3%RU DEPOSITED ON HYPERCROSSLINKED POLYSTYRENE 70

05.02.00 — TECHNICAL SCIENCES — MECHANICAL ENGINEERING AND ENGINEERING SCIENCE

Abbavaram Revanth Reddy, V.G. Nesterenko CONSTRUCTIVE METHODS OF IMPROVING CRITICAL NODES OF THE COOLING SYSTEM OF A MODERN HIGH TEMPERATURE GAS TURBINE ENGINES 73
A.P. Buinosov, I.S. Tsikhalevsky IMPROVEMENT OF THE ORGANIZATION OF SYSTEM OF TECHNICAL MAINTENANCE AND REPAIR OF LOCOMOTIVES 78
A.A. Vladimirov, A.P. Sergiev, A.V. Makarov SIMULATION OF VIBRATION-PRECISION PROCESS IN THE DEFORM SOFTWARE COMPLEX 82
I.A. Korin NUMERICAL SIMULATION OF ACOUSTICAL PROCESSES IN DUCT WITH RESONANT SOUND-ABSORBING LINER 86
Ya.A. Mishin, A.P. Buinosov RESULTS OF THE RESEARCH OF AVAILABILITY OF UNIPOLAR INDUCTION IN THE TRACTION ENGINE OF THE ELECTRIC LOCOMOTIVE OF DIRECT CURRENT 90
V.P. Novoselov, M.D. Lukashuk EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF TECHNOLOGICAL LOADS IN A NEW WORKING STAND OF A COLD PIPE ROLLING MILL 93
I.Yu. Smirnova, D.A. Feoktistova, D.G. Allenov ACTUALIZATION OF METHODS OF TECHNOLOGICAL MAINTENANCE AND REPAIR OF MACHINE PARK 96
V.S. Tynchenko, D.D. Meshkov, V.V. Tynchenko, V.V. Bukhtoyarov INSTALLATION FOR TESTING THE WORKING FLUID OF A COMPRESSOR AT OIL PUMPING STATION 99

05.11.00 — TECHNICAL SCIENCES — INSTRUMENTATION, METROLOGY AND INFORMATION-MEASURING DEVICES

I.I. Batyirshin, O.G. Morozov, A.A. Ivanov, A.J. Sakhabutdinov, A.A. Tyazhelova, L.M. Sarvarova MEASUREMENT ERRORS ANALYSIS OF THE UHF SIGNALS INSTANT FREQUENCY IN BRILLOUIN MICROWAVE SYSTEMS 102
N.N. Bespalov, Yu.V. Goryachkin, A.V. Zorkin STUDY OF VOLTAGE SWITCHING OF THYRISTORS IN DIFFERENT MODES OF TESTING 105
N.N. Bespalov, Y.V. Goryachkin, K.Y. Pankin SIMULATION AND INVESTIGATION OF PARAMETERS OF THE FORWARD CURRENT-VOLTAGE CHARACTERISTICS OF DIODE STRUCTURES OF THE MICROCIRCUIT KT101 109
N.N. Bespalov, M.V. Ilyin, A.V. Muskatinyev HARDWARE-SOFTWARE COMPLEX FOR TESTING POWER THYRISTORS AND MEASUREMENT OF PARAMETERS OF THE CONTROL CIRCUIT 113
N.N. Bespalov, A.V. Muskatinyev FEATURES OF MEASUREMENT OF DIRECT VOLTAGE DROP ON POWER THYRISTORS 116
N.N. Bespalov, A.V. Muskatinyev, P.M. Dyomkin CONTROLLED PULSE GENERATOR VOLTAGE FOR THE DEVICE TESTING OF POWER THYRISTORS IN A STATE OF HIGH CONDUCTIVITY 119
V.V. Kiselev, V.N. Oskolkov CRITERIA FOR THE EVALUATION OF THERMAL REGIMES AT ALL STAGES DESIGNS 122
I.V. Nelin, M.K. Sedankin, V.A. Skuratov RADIOMETRIC SYSTEM FOR MICROWAVE BRAIN DIAGNOSTICS 125
V.V Panichev, N.A. Solovyov, A.M. Semyonov ALGORITHM OF DETECTION OF OPTICAL PULSE SIGNALS IN THE CONDITIONS OF BACKGROUND RADIATIONS 129
P.V. Pisarev, A.N. Anoshkin, A.G. Zaharov, K.A. Maksimova, V.A. Ashikhmin EXPERIMENTAL DETERMINATION OF ACOUSTIC EFFICIENCY OF SOUND-ABSORBING CONSTRUCTION WITH SCALDATI FILLER 133
P.V. Pisarev, A.G. Zakharov, A.N. Anoshkin, N.A. Merzlyakova NUMERICAL CALCULATION OF ACOUSTIC EFFICIENCY OF SOUND-ABSORBING CELLS OF THE STRUCTURE OF THE FOLDED FORM 136

O.I. Poddaeva, A.N. Fedosova, S.A. Savrasov, A.T. Kagramanyan EXPERIMENTAL STUDY OF WIND IMPACT ON BUILDING STRUCTURES IN A WIND TUNNEL WITH A SMALL WORKING PART 140
T.R. Sakhbiev OPTICAL VECTOR NETWORK ANALYZER OF SYMMETRICAL TYPE 144
A.S. Sharafutdinov, Yu.I. Shakirov, R.I. Valiev, A.A. Khafizov, L.N. Drogailova POTENTIAL FOR THE DEVELOPMENT OF WIND POWER IN THE TERRITORY OF THE REPUBLIC OF TATARSTAN 148
A.G. Shlyakhova, A.T. Shlyakhov, Yu.B. Grekov CHANGE OF ELECTROPHYSICAL PROPERTIES OF EPITAXIAL FILMS OF PbSnTe AT RADIATION BY THE INFRARED LASER 153

05.13.00 — TECHNICAL SCIENCES — COMPUTER SCIENCE, COMPUTER ENGINEERING AND MANAGEMENT

A.I. Akimov, I.A. Akimov, V.A. Urban RESEARCH AND DEVELOPMENT OF MATHEMATICAL MODELS, CALCULATED FORMULAS OF HEAT EXCHANGE AT THE THIRD STAGE OF MANUFACTURE OF MULTILAYER CONSTRUCTIONS OF THE SPHERICAL FORM BY METHOD OF POLYMERIZATION 157
G.F. Akhmedyanova, T.A. Peshchukhina, A.M. Peshchukhin METASYSTEM TASK OF MANAGING THE READINESS OF TECHNICAL FACILITIES TO OPERATION 161
V.Y. Begeneev. I.A. Shmidt, B. Krause DATA MINING APPROACH FOR THE PROBLEM OF CLASSIFICATION OF HEART BEAT 165
M.V. Belenko, P.V. Balakshin AUTOMATIZATION OF THE APPLICATION PORTING BETWEEN THE SPEECH RECOGNITION SYSTEMS 169
S.V. Bochkarev, R.R. Khisamov IMPROVING THE EFFICIENCY OF DEVICES OF RELAY PROTECTION AND AUTOMATION WITH USE OF MICROPROCESSOR-BASED TERMINALS IN AUTOMATED CONTROL SYSTEMS OF TECHNOLOGICAL PROCESSES 172
V.S. Bykov, P.V. Balakshin RESEARCH AND OPTIMIZATION OF THE CUSTOMER TELEPHONE SUPPORT SERVICE 176
T.V. Gaibova METHOD OF ESTIMATION OF THE OPTIMUM DURATION OPERATING PHASE OF THE INVESTMENT PROJECT 179
V.V. Garyaeva AUTOMATION OF MONITORING OF CONSTRUCTION ACTIVITY OF REMOTE OBJECTS 183
V.V. Garyaeva AUTOMATION OF SYNCHRONIZATION IN REAL TIME OF DATA BIM-MODELS BUILD ON THE BASIS OF RFID TECHNOLOGY 186
A. Ginzburg, O. Kuzina, A. Ryzhkova MARKING SYSTEM OF CONSTRUCTION RESOURCES AS ELEMENT OF DIGITAL INTELLIGENCE 189
D.V. Gorbachev MODELS AND ALGORITHMS OF INFORMATION AND SEARCH SYSTEM OF MEDICINAL DRUGS 193
D.A. Dadenkov, E.M. Solodkiy, O.R. Gusmanov AUTOMATION OF DEFECTS SEARCH OF THE PAPER CLOTH WITH USE SYSTEMS OF MACHINE VISION 197
T.A. Demenkova, A.A. Phinenko, D.D. Yarovov CONVOLUTION ALGORITHM FOR THE PREDICTION PROBLEM 200
A.V. Ivaschenko, S.A. Korchivoy INFRASTRUCTURAL RETURN IN DIGITAL ECONOMICS 204
A.V. Ivaschenko, P.V. Sitnikov, O.L. Surnin ACCENTED VISUZUAIZATION FOR SITUATION CENTERS 208
A.N. Iliukhin, Sh.A. Hamadeev, Sh.Sh. Khuzyatov CONSTRUCTION OF THE MATHEMATICAL MODEL OF A DIESEL CONTROL BASED ON FUZZY LOGIC 211
A.N. Iliukhin, Sh.Sh. Khuzyatov, R.A. Valiev SUPERVISORY CONTROL SOFTWARE ENGINEERING FOR OIL PRODUCTION FACILITIES 214
V.P. Kazantsev, D.A. Dadenkov, E.O. Kopylov MODERNIZATION OF THE ELECTRIC DRIVE CONTROL SYSTEM FOR THE MESH PART OF PAPER MACHINE 217

A.D. Kiryanov, A.N. Lykov APPLICATION OF THE IEC 61850 STANDARD IN THE COLLECTION AND TRANSFER OF INFORMATION SYSTEM 220
A.A. Kolchurin, A.V. Trusov, V.A. Trusov APPROACHES AND MECHANISMS FOR THE FORMATION OF THE INFORMATION SUPPORT SYSTEM FOR THE SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL DEVELOPMENT OF THE FUEL AND ENERGY COMPLEX 223
A.D. Kurzanov, Y.A. Russkih ALGORITHMS OF INTELLECTUAL DECISION SUPPORT IN THE CONTROL OF THE NON-AUTOCLAVED AERATED CONCRETE TECHNOLOGICAL PRODUCTION PROCESS 226
S.D. Mezentsev, A.N. Lykov REALIZATION OF THE DIGITAL ELECTRIC SUBSTATION ON THE BASIS OF THE DOMESTIC EQUIPMENT 229
V.A. Menshenin, A.N. Lykov CONTROL ALGORITHM OF AIR CONDITIONING SYSTEM 232
M.V. Ovechkin, M.A. Kornipaev, U.I. Ovechkina AUTOMATION OF PRELIMINARY CONTROL OF PRODUCT MISSILE BASED ON COMPUTER SIMULATION 236
A.V. Paramonov ADVANCED TOOLS OF DECLARATIVE PLC PROGRAMMING USING VISUAL MODELS 239
P.A. Puerov, A.N. Lykov SEMICONDUCTOR INVERTERS AND THEIR APPLICATION IN MODERN TECHNOLOGIES 242
A.V. Rybina, V.V. Garyaeva ANALYSIS OF EFFICIENCY OF APPLICATION OF PROGRAMS OF MODELING 3D OBJECTS IN CONSTRUCTION DESIGN 246
Yu.S. Sakhaltueva, V.S. Tynchenko, V.V. Tynchenko, V.V. Bukhtoyarov THE METHOD OF SEARCHING FOR DUPLICATE ADS ON THE REAL ESTATE PORTAL 250
D.A. Selivanova, F.A. Popov, M.N. Shkol'nikova, O.A Bubareva RESULTS OF THE DEVELOPMENT OF THE SYSTEM OF AUTOMATED DESIGN OF FUNCTIONAL DRINKS 253
Y.S. Tarasova, V.V. Andreev, E.A. Martemyanova THE FORECASTING DISSEMINATION OF THE VISUAL WEIGHT OF DOMINANT COLOR COMPOSITIONS ON THE BASIS OF THE ANALYSIS OF THE QUASI-SPACE MODEL 256
A.V. Trusov, A.A. Kolchurin MODELING OF THE INFORMATION SUPPORT SYSTEM FOR THE SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL DEVELOPMENT OF THE FUEL AND ENERGY COMPLEX 260
Sh.A. Khamadeev, A.N. Iliukhin METHODOLOGY OF DECISION MAKING SUPPORT ON THE BASIS OF PRECEDENTS IN THE ELIMINATION OF DISCREPANCIES IN THE PRODUCTION OF POLYAMIDE TUBES 264
M.V. Khodko THE BASIC PRINCIPLES OF MANAGEMENT OF TECHNOLOGICAL OBJECTS 267
I.A. Schmidt, R.R. Narbekov, A.S. Monakhov, K.D. Bakhtereva SERVICE PROGRAM FOR AUTOMATION OF SEMI-FIELD TESTS 271

ABSTRACTS 274

02.00.06

В.С. Минкин д-р хим. наук, Т.Ю. Старостина канд. пед. наук,
Р.Х. Шагимуллин канд. техн. наук

Казанский научно-исследовательский технологический университет,
факультет наноматериалов и нанотехнологий, кафедра физики,
Казань, yerus@yandex.ru

ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ СЕРЫ НА ИЗМЕНЕНИЕ ХИМИЧЕСКИХ СДВИГОВ СПЕКТРОВ ЯМР В ПРОМЫШЛЕННЫХ ПОЛИСУЛЬФИДНЫХ ОЛИГОМЕРАХ

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-5-11-12

В работе представлены экспериментальные результаты по влиянию количества атомов серы в цепи промышленных полисульфидных олигомеров на параметры спектров ЯМР данных олигомеров.

Ключевые слова: *химический сдвиг, полисульфидный олигомер (ПСО), ядерный магнитный резонанс (ЯМР).*

К основным причинам, приводящим к увеличению атомов серы в полисульфидных олигомерах (ПСО), по сравнению с теоретически возможным значением, могут относиться: состав и количество полисульфида натрия, дозировка NaOH при проведении процесса десульфидирования, количество H_2SO_4 и качество отмывки полимера методом декантации.

Ранее отмечалось, что количество атомов серы в цепи олигомеров приводит к смещению резонансных сигналов протоносодерщащих групп серосодержащих соединений. Так, увеличение длины цепи в политиогликолях и увеличение атомов серы в органических полисульфидах от одного до десяти приводит к смещению сигналов в слабые поля на 3-4 м.д., при этом наблюдается гиперболическая зависимость химических сдвигов метиленовых групп от длины серного радикала в цепи [1].

При сравнении параметров спектров ЯМР изученных ПСО оказалось, что различное содержание атомов серы в олигомерах существенно влияет на значения химических сдвигов протоносодержащих групп. В таблице приведены найденные параметры спектров ПМР изученных олигомеров с различным содержанием серы.

Таблица - Химические сдвиги ядер ^{I}H в м.д. ПСО с различным содержанием серы

№ партии	Содержание общей серы, %		OCH_2O	OCH_2	SCH_2	SH
	вычислено	найдено				
ПСО-1	38.6	36.9	4.7	3.7	2.9	1.15
ПСО-2	38.6	37.0	4.7	3.75	3.0	1.65
ПСО-3	38.6	37.7	34.7	3.85	3.1	1.65
ПСО-4	38.6	38.0	5.0	4.0	3.1	1.75
ПСО-5	38.6	39.0	5.1	4.17	3.0	1.9

Анализ приведенных данных показывает, что увеличение содержания общей серы приводит к парамагнитному сдвигу резонансных сигналов всех рассматриваемых групп. Наибольшее влияние испытывают HS и SCH_2 –группы, изменение их химических сдвигов составляет $\Delta\delta$ 0,75 м.д. и 0,55 м.д., соответственно. Зависимость химических сдвигов серосодержащих групп δ от содержания серы в ПСО приближается к гиперболической и аналогична наблюдаемой зависимости для симметричных полисульфидов [2].

Известно, что спектры ЯМР органических полисульфидов $R–S_n–R$ очень чувствительны к изменению длины цепи атомов серы, при этом наиболее характерно изменение химического сдвига ближайшего к цепи S_n протона [2]. Для ПСО также оказывается, что наиболее

чувствительными к содержанию серы в олигомерах являются протоносодержащие группы, ближайшие к атомам серы олигомерной цепи. Полученная графическая зависимость химического сдвига SCH_2 и HS – групп от содержания серы может быть описана уравнением:

$$\delta = \delta_{\infty} + bn^{-1} \quad (n \geq 2),$$

где b = const, n – количество атомов серы.

Гиперболические зависимости, найденные для ПСО и других органических симметричных полисульфидов, могут объясняться постоянным изменением электронного и геометрического строения молекул при увеличении содержания в них атомов серы.

Увеличение в ПСО содержания серы сверх теоретического возможного должно приводить к возрастанию в них количества свободной или лабильной серы. Теоретическое содержание серы в промышленных олигомерах, полученных на основе 2,2 ' -дихлорэтилформаля (98% мол) и 1,2,3-трихлорпропана (2% мол), составляет 38,6%. Анализ отдельных промышленных партий ПСО (таблица) показывает, что в отдельных образцах содержание общей серы ниже теоретически найденного значения. Это, очевидно, связано с составом исходного полисульфида натрия, в котором значительна концентрация моносульфидных ионов. Превышение содержания общей серы либо связано с наличием полисульфидных блоков в макромолекулах, что возможно при неэффективном десульфидировании полимеров, либо с присутствием свободной или лабильной серы. Поскольку содержание примесей (ионов железа) во всех образцах не превышало 0,02%, а значение молекулярных масс также близки друг другу, можно однозначно оценить влияние содержания свободной или лабильной серы на структуру олигомеров и характер локализации свободных атомов серы в ПСО.

Тот факт, что увеличение содержания серы в ПСО главным образом влияет на химические сдвиги протоносодержащих групп наиболее близких к атому серы в цепи олигомеров, а наблюдаемая зависимость аналогична найденной для симметричных органических полисульфидов $R–S_n–R$ при увеличении атомов серы в цепи полисульфида до десяти, позволяет высказать суждения о местах локализации свободных атомов серы.

Согласно полученным данным, основным местом локализации свободных атомов серы в ПСО являются серосодержащие фрагменты основной цепи олигомера, т.е. SCH_2 и HS-группы. Наиболее сильной способностью к локализации свободных атомов серы обладает HS- группа олигомера. Это связано с тем, что относительно высокая подвижность атома водорода с учетом электроотрицательности атома серы приводят к эффекту сопряжения неподеленной пары электронов атомов серы HS-, SCH_2- фрагментов с высшими валентными орбиталями атомов серы свободных молекул. Наличие свободных атомов серы, адсорбированных по цепи олигомера, приводит к значительному уменьшению плотности электронного облака у атомов серы и большей подвижности HS-протона по сравнению с олигомерами с меньшим содержанием свободной серы. Это во многом объясняет наблюдавшееся ранее увеличение реакционной способности ПСО при введении в них небольших количеств свободных атомов серы, которые приводили к увеличению активности меркаптанных групп при отверждении олигомеров. Аналогичная активация протонов меркаптогрупп при наличии атомов серы наблюдалась также авторами работы [3].

Список литературы

1. *Ivin K.I., Navratil M., Walker N.A.* – Journal of Polymer Science. 1972. Vol. A1, №3. P.701-709.
2. *Минкин, В.С.* ЯМР в промышленных полисульфидных олигомерах. Казань: «Абак», 1997. – с.222.
3. *Минкин В.С., Кирпичников П.А., Лиакумович А.Г.* Препринты (труды) Международной конференции «Каучук и резина». – Москва, 1994. – с.98-105.

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИКА (01.01.00)

01.01.00

И.Х. Еникеев д-р техн. наук

Московский политехнический университет
Кафедра Математики,
Москва, enickeev.iX@yandex.ru

ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДА КРАМЕРА ДЛЯ РЕШЕНИЯ МНОГОПАРАМЕТРИЧАСКИХ СИСТЕМ АЛГЕБРАИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-5-13-16

Определен критерий, позволяющий производить оценку эффективности существующих методов решения систем линейных уравнений. Показана возможность применения некоторых методов решения систем линейных алгебраических уравнений для решения и исследования определенных классов многопараметрических нелинейных систем.

Ключевые слова: *критерии эффективности, метод Гаусса, матрица Жордана, схема Крамера.*

Введение

Моделирование реальных процессов в различных областях деятельности приводит к необходимости решения как систем линейных алгебраических уравнений (СЛАУ), так и систем нелинейных алгебраических уравнений (СНАУ). Для решения СЛАУ существует несколько способов: метод Гаусса, метод Крамера, метод Жордана и т.д. [1]. Для решения и исследования СНАУ используется метод подстановки, линейной комбинации уравнений, а также некоторые методы, используемые для решения СЛАУ. Каждый из этих методов имеет свои достоинства и недостатки, а также определенную область применения. В связи с этим задача выбора наиболее оптимального метода решения соответствующих систем является наиболее актуальной. Одним из критериев, по которым определяется эффективность того или иного метода решения систем алгебраических уравнения является количество арифметических операций, необходимых совершить в ходе преобразования данной системы, чтобы получить соответствующее решение. Поэтому одной из задач данной работы является определение количества арифметических операций, которые надо совершить при решении СЛАУ, с использованием различных методов.

1.Метод Гаусса. Рассмотрим систему из n-линейных уравнений и с n-неизвестными:

$$\begin{cases} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + a_{13}x_3 + \cdots + a_{1n}x_n = b_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + a_{23}x_3 + \cdots + a_{2n}x_n = b_2 \\ a_{31}x_1 + a_{32}x_2 + a_{33}x_3 + \cdots + a_{3n}x_n = b_3 \\ \cdots \\ a_{n1}x_1 + a_{n2}x_2 + a_{n3}x_3 + \cdots + a_{nn}x_n = b_n \end{cases} \quad (1)$$

Для определённости будем считать, что все коэффициенты перед переменной x_1 отличны от нуля. Метод Гаусса заключатся в последовательном исключении неизвестных в каждом уравнении системы (1), начиная со второго, так называемый прямой ход, после чего система (1) приводится к виду:

$$\begin{cases} a_{11}\ x_1 + a_{12}x_2 + a_{13}x_3 + \cdots + a_{1n} = b_1 \\ a_{22}^{(1)}x_2 + a_{23}^{(1)}x_3 + \cdots + a_{2n}^{(1)} = b_2^{(1)} \\ a_{33}^{(2)}x_3 + \cdots + a_{3n}^{(2)}x_n = b_3^{(2)} \\ \cdots \\ a_{nn}^{(n-1)}x_n = b_n^{(n-1)} \end{cases} \quad (2)$$

Наиболее эффективным методом решения системы (2), является метод подстановки, так называемый обратный ход [2]. В этом случае количество арифметических операций для получения решения (1) равно:

$$N_1 = \sum_{k=2}^{n} [2(k+1)+2](k-1) + n^2 \qquad (3)$$

2.Метод Крамера. Решение (1) методом Крамера основано на том, систему (1) можно привести к виду [3,4]: $\begin{cases} \Delta * x_1 = \Delta x_1 \\ \Delta * x_2 = \Delta x_2 \\ \dots \\ \Delta * x_n = \Delta x_n \end{cases}$ (4), $\Delta = \begin{vmatrix} a_{11}\, a_{12} \dots a_{1n} \\ a_{21}\, a_{22} \dots a_{2n} \\ \dots \\ a_{n1}\, a_{n2} \dots a_{nn} \end{vmatrix}$, $\Delta x_i = \begin{vmatrix} a_{11} \dots b_1 \dots a_{1n} \\ a_{21} \dots b_2 \dots a_{2n} \\ \dots \\ a_{n1} \dots b_n \dots a_{nn} \end{vmatrix}$,

где $\Delta -$ главный, а $\Delta x_i -$вспомогательные определители (4). В случае, если главный определитель (1) отличен от нуля, то решение (1) можно записать в виде: $x_i = \frac{\Delta x_i}{\Delta}$ (5)

Если для нахождения определителя воспользоваться методом Гаусса приведения матрицы к диагональному виду, то общее количество арифметических операций при решении (1) методом Крамера будет определяться формулой:

$$N_2 = n + (n+1)\left\{(n-1) + \sum_{k=2}^{n} [2k+2](k-1)\right\} \qquad (6)$$

3. Метод Жордана-Гаусса. Суть этого метода заключается в том, что если расширенную матрицу А состоящую из двух матриц: данной матрицы А и единичной матрицы Е при помощи эквивалентных преобразований, преобразовать так, что вместо данной матрицы А будет единичная матрица Е, то вместо единичной матрицы Е, получится обратная матрица А, то есть:

$$A' = \left(\begin{array}{cccc|cccc} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} & 1 & 0 & \dots & 0 \\ a_{11} & a_{12} & \dots & a_{2n} & 0 & 1 & \dots & 0 \\ & & \dots & & & & \dots & \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} & 0 & 0 & \dots & 1 \end{array}\right) \qquad (7)$$

$$A'' = \left(\begin{array}{cccc|cccc} 1 & 0 & \dots & 0 & a_{11}^* & a_{12}^* & \dots & a_{1n}^* \\ 0 & 1 & \dots & 0 & a_{21}^* & a_{22}^* & \dots & a_{2n}^* \\ & & \dots & & & & \dots & \\ 0 & 0 & \dots & 1 & a_{n1}^* & a_{n2}^* & \dots & a_{nn}^* \end{array}\right) \qquad (8)$$

где a_{ij}^*- элементы обратной матрицы (i,j=1,…,n)

Общее количество операций при переводе матрицы A' в матрицу A'', равно:

$$N_3 = 2 + \sum_{k=2}^{n} [k + 2k(k-1)] + \frac{7n(n-1)}{2} + (2n-1)n \qquad (9)$$

Сравнительный анализ эффективности решения СЛАУ, рассчитанных по формулам (3), (6), (9) представлен на рис.1.

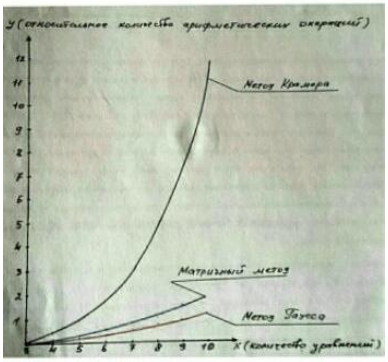


Рис. 1 - Распределение количества операций $N_{\text{от}\,i} = \frac{N_i}{700}$ (i=1,2,3)

Как показывает рис.1, относительное количество операций для метода Гаусса – минимально. Однако одним из недостатков этого метода является то, что решение системы получается последовательно, когда нахождение одного неизвестного происходит после нахождения другого. В этом отношении метод Крамера предпочтительнее, поскольку нахождение одной неизвестной происходит независимо от нахождения другой. Так же достоинством метода Крамера является то, что он может быть применен для параметрического исследования нелинейных систем уравнений. В качестве примера рассмотрим следующую задачу:

Найти все значения параметра a, при которых для любого значения b система

$$\begin{cases} bx - y - az^2 = 0 \\ (b-6)x + 2by - 4z = 4 \end{cases} \quad (10)$$

имеет, по крайней мере одно решение, (x,y,z).

Запишем систему (10) в виде:

$$\begin{cases} bx - y = az^2 \\ (b-6)x + 2by = 4z + 4 \end{cases} \quad (11)$$

Главный и вспомогательный определители системы (11) имеют вид:

$\Delta = \begin{vmatrix} b & -1 \\ b-6 & 2b \end{vmatrix} = 2b^2 + b - 6$, $\Delta_x = \begin{vmatrix} az^2 & -1 \\ 4z+4 & 2b \end{vmatrix}$, $\Delta_y = \begin{vmatrix} b & az^2 \\ b-6 & 4z+4 \end{vmatrix}$

В этом случае система (11) может быть записана в виде:

$$\begin{cases} \Delta * x = \Delta_x \\ \Delta * y = \Delta_y \end{cases} \quad (12)$$

Так как система (11) или, что то же самое система (12), должна иметь решение при любом b, то определим значения b, при которых

$\Delta = 0$, то есть $2b^2 + b - 6 = 0 <=> b_{1,2} = \begin{bmatrix} \frac{3}{2} \\ -2 \end{bmatrix}$

1) Пусть b= 3/2 => $\Delta_x = \begin{vmatrix} az^2 & -1 \\ 4z+4 & 3 \end{vmatrix} = 3az^2 + 4z + 4$

$$\Delta_y = \begin{vmatrix} \frac{3}{2} & az^2 \\ \frac{-9}{2} & 4z+4 \end{vmatrix} = 6z + 6 + \frac{9}{2}az^2$$

Если $\Delta = 0$, то для того, чтобы система (12) имела решение <=> $\Delta_x = \Delta_y = 0$, то есть:

$\begin{cases} 3az^2 + 4z + 4 = 0 \\ \frac{9}{2}az^2 + 6z + 6 = 0 \end{cases} <=> \begin{cases} 3az^2 + 4z + 4 = 0 \\ 3az^2 + 4z + 4 = 0 \end{cases} =>$

1.1) a = 0 => z=-1

1.2) $a \neq 0 => z_{1,2} = \frac{-2 \pm \sqrt{4-12a}}{3a} => 4 - 12a \geq 0 \Leftrightarrow$

$a \leq \frac{1}{3}$. Таким образом, при $b = \frac{3}{2}$, a $\in (-\infty; \frac{1}{3}]$ (13)

2) Пусть b= -2 => $\Delta_x = \begin{vmatrix} az^2 & -1 \\ 4z+4 & -4 \end{vmatrix} = 3az^2 + 4z + 4$

$$\Delta_y = \begin{vmatrix} -2 & az^2 \\ -8 & 4z+4 \end{vmatrix} = 8az^2 - 8z - 8 \quad =>$$

$\begin{cases} -4az^2 + 4z + 4 = 0 \\ 8az^2 - 8z + 8 = 0 \end{cases} <=> \begin{cases} az^2 - z - 4 = 0 \\ az^2 - z - 4 = 0 \end{cases} =>$

2.1) a = 0 => z=-1

2.2) $a \neq 0 => z_{3,4} = \frac{1 \pm \sqrt{1+4a}}{2a} => 1 + 4a \geq 0 \Leftrightarrow$

$a \geq -\frac{1}{4}$. Таким образом, при $b = -2$, a $\in [-\frac{1}{4}; -\infty)$ (14)

Следовательно, для тех значений b, при которых главный определитель обращается в нуль и система (12) имеет решение, как следует из (13) и (14),

$a \in [-\frac{1}{4}; \frac{1}{3}]$.Для всех остальных значений b, $\Delta \neq 0$ и система (12) имеет по крайней мере хотя бы одно решение для $a \in R$. Таким образом можно сделать вывод о том, что система (10) имеет хотя бы одно решение при любом b, если $a \in [-\frac{1}{4}; \frac{1}{3}]$.

Список литературы

1. *Письменный Д.Т.* Конспект лекций по высшей математике. - 10-е изд.,испр. – М.: 4~АЙРИСПРЕСС, - 2011. – 599с.
2. *Гантмахер Ф.Р.* Теория матриц. – 5-е изд. – М.: Физматлит, - 2010. – 560с.
3. *Гельфанд И.М.* Лекции по линейной алгебре. – 5-е изд., исп. – М.: Добросвет, МЦНМО, 1998. – 320с.
4. *Головина М.И.* Линейная алгебра и некоторые ее приложения. – М.: Наука, 1985. – 392с.

01.01.01

А.С. Калитвин д-р физ.-мат. наук, А.И. Иноземцев

Липецкий государственный педагогический университет
имени П.П. Семенова-Тян-Шанского,
институт естественных, математических и технических наук, кафедра математики и физики,
Липецк, kalitvinas@mail.ru, inozemcev.a.i@gmail.com

О НЕТЕРОВОСТИ, ФРЕДГОЛЬМОВОСТИ И ОБРАТИМОСТИ ЛИНЕЙНЫХ ОПЕРАТОРОВ И УРАВНЕНИЙ С МНОГОМЕРНЫМИ ЧАСТНЫМИ ИНТЕГРАЛАМИ

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-5-17-21

Получены критерии нетеровости, фредгольмовости и обратимости одного класса линейных операторов и уравнений с многомерными частными интегралами в пространстве непрерывных на параллелепипеде функций.

Ключевые слова: *частные интегралы, линейные операторы и уравнения с многомерными частными интегралами, нетеровость операторов и уравнений, фредгольмовость операторов и уравнений, обратимость.*

В статье изучаются условия нетеровости, фредгольмовости и обратимости операторов и уравнений с многомерными частными интегралами в пространстве $C(D)$, где $D=[a,b]\times[c,d]\times[e,f]$. Изучение линейных операторов и уравнений с многомерными частными интегралами связано с решением некоторых задач для интегро-дифференциальных уравнений Барбашина, теории вероятностей и эволюционных уравнений [1]. Отметим, что линейные операторы и уравнения с частными интегралами изучались в монографиях [1-4], в них же можно найти и библиографию работ.

Будем рассматривать уравнение с многомерными частными интегралами следующего вида:

$$(I-K)x=f, \tag{1}$$

где $K=K_1+K_2+K_3+K_{123}$, а операторы K_1,K_2,K_3,K_{123} определяются равенствами

$$(K_1x)(t_1,t_2,t_3)=\int_a^b k_1(t_1,t_2,t_3,\tau_1)x(\tau_1,t_2,t_3)d\tau_1,\ (K_2x)(t_1,t_2,t_3)=\int_c^d k_2(t_1,t_2,t_3,\tau_2)x(t_1,\tau_2,t_3)d\tau_2,$$

$$(K_3x)(t_1,t_2,t_3)=\int_e^f k_3(t_1,t_2,t_3,\tau_3)x(t_1,t_2,\tau_3)d\tau_3,$$

$$(K_{123}x)(t_1,t_2,t_3)=\int_a^b\int_c^d\int_e^f k_{123}(t_1,t_2,t_3,\tau_1,\tau_2,\tau_3)x(\tau_1,\tau_2,\tau_3)d\tau_1d\tau_2d\tau_3.$$

Предполагается непрерывность по совокупности переменных функций k_1,k_2,k_3,k_{123}. При этом условии операторы K_1, K_2,K_3 и K_{123} непрерывны в $C(D)$.

Линейное уравнение с ограниченным оператором $x=Ax+f$ считается в работе нетеровым (фредгольмовым), если линейный оператор $I-A$ нетеров (фредгольмов), а оператор $I-A$ считается нетеровым, если он имеет замкнутое множество значений и конечные размерности ядра и коядра, нетеров оператор с равными размерностями ядра и коядра называется фредгольмовым. Уравнение $x=Ax+f$ считается обратимым в $C(D)$, если на $C(D)$ обратим оператор $I-A$.

Свойства уравнения (1) существенно отличаются от свойств интегральных уравнений Фредгольма и от свойств сингулярных интегральных уравнений [2]. Никакая гладкость ядер не обеспечивает ни нетеровость, ни фредгольмовость уравнения (1) [2-4].

В связи с этим возникает задача описания условий нетеровости, фредгольмовости и обратимости оператора $I-K$ (уравнения (1)).

Если операторы $I-K_i$ $(i=1,2,3)$ обратимы, то

$$I-K=\Theta[I-(I-K_3)^{-1}(I-K_2)^{-1}(I-K_1)^{-1}(K_1K_2+K_1K_3+K_2K_3-K_1K_2K_3)],$$

где $\Theta=(I-K_1)(I-K_2)(I-K_3)$, $(I-K_1)^{-1}=I+R_1$, $(I-K_2)^{-1}=I+R_2$, $(I-K_3)^{-1}=I+R_3$.

Аналогично [2-4] доказывается, что

$$(R_1x)(t_1,t_2,t_3)=\int_a^b r_1(t_1,t_2,t_3,\tau_1)x(\tau_1,t_2,t_3)d\tau_1,\ (R_2x)(t_1,t_2,t_3)=\int_c^d r_2(t_1,t_2,t_3,\tau_2)x(t_1,\tau_2,t_3)d\tau_2,$$

$$(R_3x)(t_1,t_2,t_3)=\int_e^f r_3(t_1,t_2,t_3,\tau_3)x(t_1,t_2,\tau_3)d\tau_3,$$

где r_1,r_2,r_3 — непрерывные по совокупности переменных функции. Тогда

$$I-K=\Theta[I-(I+R_3)(I+R_2)(I+R_1)(K_1K_2+K_1K_3+K_2K_3-K_1K_2K_3)]=\Theta[I-B_{12}-B_{13}-B_{23}-B_{123}],$$

где частично интегральные операторы $B_{12}=K_1K_2+R_2K_1K_2+R_1K_1K_2+R_2R_1K_1K_2$, $B_{13}=K_1K_3+R_3K_1K_3+R_1K_1K_3+R_3R_1K_1K_3$, $B_{23}=K_2K_3+R_3K_2K_3+R_2K_2K_3+R_3R_2K_2K_3$ имеют непрерывные ядра, функция $x(t_1,t_2,t_3)$ интегрируется по $[a,b]\times[c,d]$, $[a,b]\times[e,f]$, $[c,d]\times[e,f]$ соответственно, а B_{123} - интегральный оператор с непрерывным ядром.

Компактность оператора B_{123} в $C(D)$ влечет равносильность фредгольмовости операторов $I–K$ и оператора

$$\Theta[I-B_{12}-B_{13}-B_{23}]=\Theta[(I-B_{12})(I-B_{13})(I-B_{23})-(B_{12}B_{13}+B_{12}B_{23}+B_{13}B_{23}-B_{12}B_{13}B_{23})].$$

В случае обратимости операторов $I-B_{12},I-B_{13},I-B_{23}$, аналогично [3, 4], получим $(I-B_{12})^{-1}=I+R_{12}$, $(I-B_{13})^{-1}=I+R_{13}$, $(I-B_{23})^{-1}=I+R_{23}$, где

$$(R_{12}x)(t_1,t_2,t_3)=\int_a^b\int_c^d r_{12}(t_1,t_2,t_3,\tau_1,\tau_2)x(\tau_1,\tau_2,t_3)d\tau_1d\tau_2,$$

$$(R_{13}x)(t_1,t_2,t_3)=\int_a^b\int_e^f r_{13}(t_1,t_2,t_3,\tau_1,\tau_3)x(\tau_1,t_2,\tau_3)d\tau_1d\tau_3,$$

$$(R_{23}x)(t_1,t_2,t_3)=\int_c^d\int_e^f r_{23}(t_1,t_2,t_3,\tau_2,\tau_3)x(t_1,\tau_2,\tau_3)d\tau_2d\tau_3,$$

причем ядра этих операторов есть непрерывные по совокупности переменных функции. Тогда

$$I-K=\Theta\Delta[I-(I+R_{23})(I+R_{13})(I+R_{12})(B_{12}B_{13}+B_{12}B_{23}+B_{13}B_{23}-B_{12}B_{13}B_{23})]=\Theta\Delta[I-H_{123}],$$

где $\Delta=(I-B_{12})(I-B_{13})(I-B_{23})$, а H_{123} — интегральный оператор с непрерывным ядром.

Следовательно, обратимость операторов $I-K_1$, $I-K_2$, $I-K_3$, $I-B_{12}$, $I-B_{13}$, $I-B_{23}$ влечет фредгольмовость оператора $I-K$.

Рассмотрим оператор $I-K_1$. Так же, как в [3, 5], доказывается, что его обратимость в $C(D)$ равносильна обратимости в $C([a,b])$ при фиксированных произвольным образом $t_2\in[c,d]$, $t_3\in[e,f]$ операторов

$$(I-K_{1t_2t_3})x(t_1)=x(t_1)-\int_a^b k_1(t_1,t_2,t_3,\tau_1)x(\tau_1)d\tau_1.$$

Если оператор $I-K_1$ необратим, то при некотором $(\bar{t}_2,\bar{t}_3)$ оператор $I-K_{1\bar{t}_2\bar{t}_3}$ необратим в $C([a,b])$ и, в силу компактности интегрального оператора $K_{1\bar{t}_2\bar{t}_3}$ с непрерывным ядром, 1 является собственным числом этого оператора. Пусть $x_{\bar{t}_2\bar{t}_3}(t_1)$ - нормированная собственная функция оператора $K_{1\bar{t}_2\bar{t}_3}$, соответствующую собственному числу 1, и пусть

$$c_n=\bar{t}_2+\frac{c-\bar{t}_2}{2^n},\ d_n=\bar{t}_2+\frac{d-\bar{t}_2}{2^n},\ e_n=\bar{t}_3+\frac{e-\bar{t}_3}{2^n},\ f_n=\bar{t}_3+\frac{f-\bar{t}_3}{2^n}\ \ (n=1,2,\ldots).$$

Функции

$$y_n(t_2)=\begin{cases}\dfrac{t_2-c_n}{\bar{t}_2-c_n}, & t_2\in[c_n,\bar{t}_2],\\ \dfrac{t_2-d_n}{\bar{t}_2-d_n}, & t_2\in[\bar{t}_2,d_n],\\ 0, & t_2\notin[c_n,d_n].\end{cases}\quad z_n(t_3)=\begin{cases}\dfrac{t_3-e_n}{\bar{t}_3-e_n}, & t_3\in[e_n,\bar{t}_3],\\ \dfrac{t_3-f_n}{\bar{t}_3-f_n}, & t_3\in[\bar{t}_3,f_n],\\ 0, & t_3\notin[e_n,f_n]\end{cases}$$

$x_{\bar{t}_2\bar{t}_3}(t_1)y_n(t_2)z_n(t_3)$ $(n=1,2,\ldots)$ образуют некомпактные последовательности нормированных функций в $C([c,d])$, $C([e,f])$ и $C(D)$ соответственно. При этом

$$\left|(I-K)x_{\bar{t}_2\bar{t}_3}(t_1)y_n(t_2)z_n(t_3)\right|\le y_n(t_2)z_n(t_3)\left|x_{\bar{t}_2\bar{t}_3}(t_1)-\int_a^b k_1(t_1,t_2,t_3,\tau_1)x_{\bar{t}_2\bar{t}_3}(\tau_1)d\tau_1\right|+$$

$$+|x_{\bar{t}_2\bar{t}_3}(t_1)|\,z_n(t_3)\left|\int_c^d k_2(t_1,t_2,t_3,\tau_2)y_n(\tau_2)d\tau_2\right|+|x_{\bar{t}_2\bar{t}_3}(t_1)|\,y_n(t_2)\left|\int_e^f k_3(t_1,t_2,t_3,\tau_3)z_n(\tau_3)d\tau_3\right|\le$$

$$\le y_n(t_2)z_n(t_3)\left|x_{\bar{t}_2\bar{t}_3}(t_1)-\int_a^b k_1(t_1,\bar{t}_2,\bar{t}_3,\tau_1)x_{\bar{t}_2\bar{t}_3}(\tau_1)d\tau_1\right|+$$

$$+y_n(t_2)z_n(t_3)\int_a^b\left|k_1(t_1,\bar{t}_2,\bar{t}_3,\tau_1)-k_1(t_1,t_2,t_3,\tau_1)\right|\left|x_{\bar{t}_2\bar{t}_3}(\tau_1)\right|d\tau_1\le$$

$$\le y_n(t_2)z_n(t_3)\int_a^b\left|k_1(t_1,\bar{t}_2,\bar{t}_3,\tau_1)-k_1(t_1,t_2,t_3,\tau_1)\right|d\tau_1.$$

Отсюда, нормированности функций $y_n(t_2)z_n(t_3)$ и непрерывности функции k_1 вытекает, что для произвольного $\varepsilon>0$ найдется такое $\delta>0$, что $|(I-K)x_{\bar{t}_2\bar{t}_3}(t_1)y_n(t_2)z_n(t_3)|<\varepsilon$. Следовательно, последовательность функций $(I-K)x_{\bar{t}_2\bar{t}_3}(t_1)y_n(t_2)z_n(t_3)$ $(n=1,2,\ldots)$ сходится в $C(D)$к нулю.

Таким образом, оператор $I-K$ переводит некомпактную последовательность нормированных функций $x_{\bar{t}_2\bar{t}_3}(t_1)y_n(t_2)z_n(t_3)$ $(n=1,2,\ldots)$ из $C(D)$ в последовательность, сходящуюся к нулю в $C(D)$. В силу [6] оператор I - K не является ни фредгольмовым и ни нетеровым.

Аналогично доказывается, что оператор $I-K$ не является ни фредгольмовым и ни нетеровым, если необратим хотя бы один из операторов $I-K_2$ или $I-K_3$.

Поэтому требование обратимости операторов $I-K_1$, $I-K_2$ и $I-K_3$ является необходимым условием для фредгольмовости оператора $I-K$. При его выполнении фредгольмовость оператора $I-K$, как показано выше, равносильна фредгольмовости оператора $\Theta(I-B_{12}-B_{13}-B_{23})$, где $\Theta=(I-K_1)(I-K_2)(I-K_3)$. Так как Θ — обратимый оператор, то фредгольмовость оператора $\Theta(I-B_{12}-B_{13}-B_{23})$ равносильна фредгольмовости оператора $I-B_{12}-B_{13}-B_{23}$.

Если обратим каждый из операторов $I-B_{12}$, $I-B_{13}$, $I-B_{23}$, то, так же, как и выше, оператор $I-K$ фредгольмов. Покажем, что если хотя бы один из операторов $I-B_{12}$, $I-B_{13}$, $I-B_{23}$ не обратим, то оператор $I-B_{12}-B_{13}-B_{23}$ не фредгольмов.

Рассмотрим оператор $I-B_{12}$, где

$$(B_{12}x)(t_1,t_2,t_3)=\int_a^b\int_c^d b_{12}(t_1,t_2,t_3,\tau_1,\tau_2)x(\tau_1,\tau_2,t_3)d\tau_1 d\tau_2.$$

Аналогично [3, 5] доказывается, что при каждом фиксированном $t_3\in[e,f]$ обратимость оператора $I-B_{12}$ в $C(D)$ равносильна обратимости в $C([a,b]\times[c,d])$ оператора

$$(I-B_{12t_3})x(t_1,t_2)=x(t_1,t_2)-\int_a^b\int_c^d b_{12}(t_1,t_2,t_3,\tau_1,\tau_2)x(\tau_1,\tau_2)d\tau_1 d\tau_2 \quad (t_3\in[e,f]).$$

Предположим, что оператор $I-B_{12}$ необратим. Тогда при некотором $\bar{t}_3\in[e,f]$ необратим оператор $I-B_{12\bar{t}_3}$. Из компактности интегрального оператора $B_{12\bar{t}_3}$ в $C([a,b]\times[c,d])$, при каждом $t_3\in[e,f]$, следует существование непрерывной на $[a,b]\times[c,d]$ нормированной собственной функции $x_{\bar{t}_3}(t_1,t_2)$, соответствующей собственному числу 1. Учитывая некомпактность последовательности нормированных функций $x_{\bar{t}_3}(t_1,t_2)z_n(t_3)$ $(n=1,2,\ldots)$, имеем

$$(I-B_{12}-B_{13}-B_{23})x_{\bar{t}_3}(t_1,t_2)z_n(t_3)=z_n(t_3)\times$$

$$\left(x_{\bar{t}_3}(t_1,t_2)-\int_a^b\int_c^d b_{12}(t_1,t_2,t_3,\tau_1,\tau_2)x_{\bar{t}_3}(\tau_1,\tau_2)d\tau_1 d\tau_2\right)-B_{13}x_{\bar{t}_3}(t_1,t_2)z_n(t_3)-B_{23}x_{\bar{t}_3}(t_1,t_2)z_n(t_3).$$

Из непрерывности ядер операторов B_{13} и B_{23}, неравенств

$$\left|B_{13}x_{\bar{t}_3}(t_1,t_2)z_n(t_3)\right|\le\int_c^d\int_e^f|b_{13}(t_1,t_2,t_3,\tau_1,\tau_3)|\,z_n(\tau_3)d\tau_1 d\tau_3,$$

$$\left|B_{23}x_{\bar{t}_3}(t_1,t_2)z_n(t_3)\right|\le\int_c^d\int_e^f|b_{23}(t_1,t_2,t_3,\tau_2,\tau_3)|\,z_n(\tau_3)d\tau_2 d\tau_3$$

и определения функций $x_{\bar{t}_3}(t_1,t_2)$ и $z_n(t_3)$ $(n=1,2,\ldots)$ имеем, что при $n\to\infty$ второе и третье слагаемые правой части последнего равенства стремятся к нулю.

Стремление к нулю при $n\to\infty$ первого слагаемого доказывается с помощью оценки, аналогичной приведенной выше оценки для $|(I-K)x_{\bar{t}_2\bar{t}_3}(t_1)y_n(t_2)z_n(t_3)|$.

Следовательно, в $C(D)$ последовательность функций $(I-B_{12}-B_{13}-B_{23})x_{\bar{t}_3}(t_1,t_2)z_n(t_3)$ сходится к нулю при $n\to\infty$, т.е. некомпактную последовательность нормированных функций $x_{\bar{t}_3}(t_1,t_2)z_n(t_3)$ из $C(D)$ оператор $I-B_{12}-B_{13}-B_{23}$ переводит в последовательность функций, сходящуюся в $C(D)$ к нулю. Тогда оператор $I-B_{12}-B_{13}-B_{23}$ ни фредгольмов и ни нетеров в $C(D)$ [5], а $\Theta(I-B_{12}-B_{13}-B_{23})$, следовательно, и оператор $I-K$, не являются ни фредгольмовыми и ни нетеровыми в $C(D)$.

Аналогично доказывается, что оператор $I-K$ ни фредгольмов и ни нетеров в $C(D)$, если оператор $I-B_{13}$ или $I-B_{23}$ необратим.

Так как K_{123} — компактный в $C(D)$ оператор, то в силу устойчивости фредгольмовости относительно компактных возмущений из приведенных рассуждений вытекает

Теорема 1. *В* $C(D)$ *фредгольмовость и нетеровость оператора* $I - K_1 - K_2 - K_3 - K_{123}$ *с непрерывными ядрами равносильны обратимости операторов* $I - K_1$, $I - K_2$, $I - K_3$, $I - B_{12}$, $I - B_{13}$, $I - B_{23}$.

Из теоремы 1 вытекает

Теорема 2. *В* $C(D)$ *уравнение* $(I - K_1 - K_2 - K_3 - K_{123})x = f$ *с непрерывными ядрами и непрерывной функцией* f *фредгольмово тогда и только тогда, когда в* $C(D)$ *обратимы операторы* $I - K_1$, $I - K_2$, $I - K_3$, $I - B_{12}$, $I - B_{13}$, $I - B_{23}$.

Список литературы

1. *Appell J.M., Kalitvin A.S., Zabrejko P.P.* Partial Integral Operators and Integro-Differential Equations. New York-Basel: Marcel Dekker, 2000. 560 pp.
2. *Калитвин А.С.* Линейные операторы с частными интегралами. Воронеж: ЦЧКИ, 2000. 252с.
3. *Калитвин А.С., Калитвин В.А.* Интегральные уравнения Вольтерра и Вольтерра-Фредгольма с частными интегралами. Липецк: ЛГПУ, 2013. 177 с.
4. *Калитвин А.С., Фролова Е.В.* Линейные уравнения с частными интегралами. C-теория. Липецк: ООО "‘Оперативная полиграфия", 2015. 195 с.
5. *Калитвин А.С.* Ободном классе интегральных уравнений в пространстве непрерывных функций // Дифференц. уравнения, 2006.Т. 42. № 9. С. 1194 - 1200.
6. *Като Т.* Теория возмущений линейных операторов. М.: Мир, 1972. 740 с.

01.01.01

А.С. Калитвин д-р физ.-мат. наук, А.И. Иноземцев

Липецкий государственный педагогический университет имени
П.П. Семенова-Тян-Шанского,
институт естественных, математических и технических наук, кафедра математики и физики,
Липецк, kalitvinas@mail.ru, inozemcev.a.i@gmail.com

О НЕТЕРОВОСТИ, ФРЕДГОЛЬМОВОСТИ И ОБРАТИМОСТИ ДВУХ КЛАССОВ ЛИНЕЙНЫХ ОПЕРАТОРОВ И УРАВНЕНИЙ С МНОГОМЕРНЫМИ ЧАСТНЫМИ ИНТЕГРАЛАМИ

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-5-22-24

Получены критерии нетеровости, фредгольмовости и обратимости двух классов линейных операторов и уравнений с многомерными частными интегралами в пространстве непрерывных на параллелепипеде функций.

Ключевые слова: *частные интегралы, линейные операторы и уравнения с многомерными частными интегралами, нетеровость операторов и уравнений, фредгольмовость операторов и уравнений, обратимость.*

Статья содержит условия нетеровости, фредгольмовости и обратимости одного класса операторов и уравнений с многомерными частными интегралами в пространстве $C(D)$, где $D=[a_1,b_1]\times[a_2,b_2]\times\cdots\times[a_n,b_n]$. При $D=[a,b]\times[c,d]$ и других областях D нетеровость, фредгольмовость и обратимость линейных операторов и уравнений с частными интегралами изучались в монографиях [1-4], которых можно найти и библиографию других работ. Отметим, что изучение линейных операторов и уравнений с многомерными частными интегралами связано с изучением ряда задач для интегро-дифференциальных уравнений Барбашина, к которым приводятся различные задачи теории вероятностей и некоторые эволюционные уравнения [1].

Линейным оператором с многомерными частными интегралами будем называть оператор

$$(Kx)(t)=\sum_{\alpha}\int\limits_{D_\alpha}k_\alpha(t,S_\alpha)x(s_\alpha)dS_\alpha, \tag{1}$$

где $\alpha=(\alpha_1,\alpha_2,\ldots,\alpha_n)$ - мультииндекс, причем $\alpha_j\in\{0,1\}$ при $j=1,\ldots,n$, $t\in R^n$, $S_\alpha\subset\{\tau_1,\tau_2,\ldots,\tau_n\}$, вектор s_α получается заменой компонент вектора t соответствующими элементами S_α, $j=1,\ldots,n$, $D_\alpha=\prod\limits_{j=1}^{n}[a_j,b_j]^{\alpha_j}$, а интегралы понимаются в смысле Лебега. В случае $\alpha_k=0$ отрезок $[a_k,b_k]$ исключается из декартова произведения. dS_α - произведение элементов множества $\{d\tau_1,d\tau_2,\ldots,d\tau_n\}$, выбор которых соответствует номерам ненулевых координат вектора α.

В статье рассматриваются уравнение с многомерными частными интегралами следующего вида:

$$(I-K)x=f, \tag{2}$$

где K - оператор (1) с $\alpha\neq(0,\ldots,0)$.

Линейное уравнение $x=Ax+f$ с ограниченным оператором будем называть нетеровым (фредгольмовым), если линейный оператор $I-A$ нетеров (фредгольмов). Оператор $I-A$ считается нетеровым (фредгольмовым), если он имеет замкнутое множество значений и конечные размерности ядра и коядра, нетеров оператор с равными размерностями ядра и

коядра называется фредгольмовым. Уравнение $x = Ax + f$ считается обратимым в $C(D)$, если на $C(D)$ обратим оператор $I - A$.

Свойства уравнений (2) существенно отличны от свойств интегральных уравнений Фредгольма и от свойств сингулярных интегральных уравнений [2]. Следующий пример показывает, что никакая гладкость ядер не обеспечивает ни нетеровость, ни фредгольмовость уравнения (2) [1-4]. В связи с этим возникает задача описания условий нетеровости, фредгольмовости и обратимости оператора $I - K$ (уравнения (2)).

Рассмотрим в пространстве $C(D)$ уравнение вида

$$\left(I - K_{\alpha} - K_{\bar{\alpha}} - K_{(1,1,\ldots,1)}\right)x = f, \tag{3}$$

где $\alpha + \bar{\alpha} = (1,1,\ldots,1)$.

Следующие три теоремы вытекают из результатов работ [1-4].

Теорема 1. *Если операторы K_{α}, $K_{\bar{\alpha}}$ и $K_{(1,1,\ldots,1)}$ действуют в пространстве $C(D)$ и оператор $K_{(1,1,\ldots,1)} + K_{\alpha}K_{\bar{\alpha}}$ компактен в $C(D)$, то в $C(D)$ нетеровость оператора $I - K_{\alpha} - K_{\bar{\alpha}} - K_{(1,1,\ldots,1)}$ равносильна нетеровости операторов $I - K_{\alpha}$ и $I - K_{\bar{\alpha}}$. Если, дополнительно, оператор $I - K_{\alpha}$ фредгольмов, то фредгольмовость оператора $I - K_{\alpha} - K_{\bar{\alpha}} - K_{(1,1,\ldots,1)}$ равносильна фредгольмовости оператора $I - K_{\bar{\alpha}}$.*

Теорема 2. *Пусть операторы K_{α}, $K_{\bar{\alpha}}$, $K_{(1,\ldots,1)}$ действуют в $C(D)$ и операторы $K_{(1,\ldots,1)} + K_{\alpha}K_{\bar{\alpha}}$ и $K_{(1,\ldots,1)} + K_{\bar{\alpha}}K_{\alpha}$ компактны в $C(D)$. Тогда нетеровость уравнения (3) эквивалентна нетеровости уравнений $(I - K_{\alpha})x = f$ и $(I - K_{\bar{\alpha}})x = f$, а фредгольмовость уравнения (3) эквивалентна фредгольмовости уравнений $(I - K_{\alpha})(I - K_{\bar{\alpha}})x = f$ и $(I - K_{\bar{\alpha}})(I - K_{\alpha})x = f$.*

Пусть k_{α}, $k_{\bar{\alpha}}$ и $k_{(1,1,\ldots,1)}$ — ядра операторов K_{α}, $K_{\bar{\alpha}}$ и $K_{(1,1,\ldots,1)}$ соответственно.

Теорема 3. *Если ядра k_{α}, $k_{\bar{\alpha}}$ и $k_{(1,1,\ldots,1)}$ непрерывны, то уравнение (3) фредгольмово в $C(D)$ точно тогда, когда уравнения $(I - K_{\alpha})x = f$ и $(I - K_{\bar{\alpha}})x = f$ обратимы в $C(D)$.*

Пусть $n = 3$. Для упрощения записей будем считать $[a_1, b_1] = [a, b]$, $[a_2, b_2] = [c, d]$, $[a_3, b_3] = [e, f]$.

Рассмотрим уравнение (2) с оператором $K = K_1 + K_2 + K_{12}$. В этом случае

$$(K_1 x)(t_1, t_2, t_3) = \int_a^b k_1(t_1, t_2, t_3, \tau_1)x(\tau_1, t_2, t_3)d\tau_1, \tag{4}$$

$$(K_2 x)(t_1, t_2, t_3) = \int_c^d k_2(t_1, t_2, t_3, \tau_2)x(t_1, \tau_2, t_3)d\tau_2, \tag{5}$$

$$(K_{12} x)(t_1, t_2, t_3) = \int_a^b \int_c^d k_{12}(t_1, t_2, t_3, \tau_1, \tau_2)x(\tau_1, \tau_2, t_3)d\tau_1 d\tau_2. \tag{6}$$

Будем предполагать непрерывность по совокупности переменных функций k_1, k_2, k_{12}. Тогда операторы K_1, K_2 и K_{12} непрерывны в $C(D) = C([a, b] \times [c, d] \times [e, f])$.

При каждом фиксированном $t_3 \in [e, f]$ оператор K является линейным оператором с частными интегралами. В силу [3, 5] фредгольмовость оператора $I - K$ при каждом фиксированном $t_3 \in [e, f]$ в $C([a, b] \times [c, d])$ равносильна обратимости операторов $I - K_{1t_3}$ и $I - K_{2t_3}$, где

$$(K_{1t_3}x)(t_1,t_2)=\int_a^b k_1(t_1,t_2,t_3,\tau_1)x(\tau_1,t_2)d\tau_1,\quad (K_{2t_3}x)(t_1,t_2)=\int_c^d k_2(t_1,t_2,t_3,\tau_2)x(t_1,\tau_2)d\tau_2.$$

Аналогично [3, 5] доказывается, что обратимость операторов $I-K_1$ и $I-K_2$ равносильна обратимости при каждом $t_3\in[e,f]$ операторов $I-K_{1t_3}$ и $I-K_{2t_3}$ при всех $t_3\in[e,f]$. Тогда оператор $I-K$ может быть записан в виде

$$I-K=(I-K_1)(I-K_2)(I-\Phi), \qquad (7)$$

где частично интегральный оператор

$$(\Phi x)(t_1,t_2,t_3)=\int_a^b\int_c^d \varphi(t_1,t_2,t_3,\tau_1,\tau_2)x(\tau_1,\tau_2,t_3)d\tau_1 d\tau_2$$

имеет непрерывное ядро.

В силу обратимости операторов $I-K_1$ и $I-K_2$ в $C(D)$ из (7) следует, что фредгольмовость оператора $I-K$ равносильна фредгольмовости оператора $I-\Phi$. Аналогично [3, 5] доказывается, что фредгольмовость оператора $I-\Phi$ равносильна его обратимости.

Таким образом, справедлива

Теорема 3. *В $C(D)$ фредгольмовость оператора $I-K_1-K_2-K_{12}$ с непрерывными ядрами совпадает с его обратимостью.*

Из приведенных утверждений видно, что в $C(D)$ фредгольмовость оператора $I-K_1-K_2-K_{12}$ с непрерывными ядрами совпадает не только с его обратимостью, но и с обратимостью трех операторов: $I-K_1$, $I-K_2$, $I-\Phi$. Данное обстоятельство принципиально отличает оператор $I-K_1-K_2-K_{12}$ от оператора $I-K_1-K_2-K_3$ и от рассмотренных в [1-4] линейных операторов с частными интегралами.

Из теоремы 7 следует

Теорема 4. *В $C(D)$ фредгольмовость уравнения*

$$(I-K_1-K_2-K_{12})x=f$$

с непрерывными ядрами равносильна его обратимости и обратимости операторов $I-K_1$, $I-K_2$ и $I-\Phi$, где

$$\Phi=K_1K_2-K_{12}+R_2K_1K_2-R_2K_{12}+R_1K_1K_2-R_1K_{12}+R_2R_1K_1K_2-R_2R_1K_{12},\qquad (I-K_1)^{-1}=I+R_1,$$
$$(I-K_2)^{-1}=I+R_2.$$

Список литературы

1. *Appell J.M., Kalitvin A.S., Zabrejko P.P.* Partial Integral Operators and Integro-Differential Equations. New York-Basel: Marcel Dekker, 2000. 560 pp.

2. *Калитвин А.С.* Линейные операторы с частными интегралами. Воронеж: ЦЧКИ, 2000. 252с.

3. *Калитвин А.С., Калитвин В.А.* Интегральные уравнения Вольтерра и Вольтерра-Фредгольма с частными интегралами. Липецк: ЛГПУ, 2013. 177 с.

4. *Калитвин А.С., Фролова Е.В.* Линейные уравнения с частными интегралами. C-теория. Липецк: ООО "‘Оперативная полиграфия", 2015. 195 с.

5. *Калитвин А.С.* Ободном классе интегральных уравнений в пространстве непрерывных функций // Дифференц. уравнения, 2006. Т. 42. № 9. С. 1194 –1200.

6. *Като Т.* Теория возмущений линейных операторов. М.: Мир, 1972. 740 с.

01.01.01

А.С. Калитвин д-р физ.-мат. наук, В.А. Калитвин канд. физ.-мат. наук

Липецкий государственный педагогический университет
имени П.П. Семенова-Тян-Шанского,
институт естественных, математических и технических наук, кафедра математики и физики,
Липецк, kalitvinas@mail.ru; kalitvin@mail.ru

О ПРИБЛИЖЁННОМ РЕШЕНИИ ЛИНЕЙНОГО ЧАСТИЧНО ИНТЕГРАЛЬНОГО УРАВНЕНИЯ РОМАНОВСКОГО

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-5-25-28

Работа содержит теоремы о разрешимости линейных частично интегральных уравнений Романовского, результаты о различных приближённых методах их решения.

Ключевые слова: *интегральные уравнения, линейные уравнения Романовского, частные интегралы, приближённые методы, марковские цепи.*

Задача двухсвязных марковских цепей приводится к интегральному уравнению Романовского

$$x(t,s) = \lambda\int_a^b m(t,s,\sigma)x(\sigma,t)d\sigma \equiv \lambda(Mx)(t,s) \qquad (1)$$

с непрерывной на $[a,b]\times[a,b]\times[a,b]$ заданной функцией m и некоторой константой $\lambda>0$; задачи многосвязных марковских цепей приводятся к интегральным уравнениям Романовского с неизвестной функцией, зависящей от n переменных [1]. Отметим, что в уравнении (1) у неизвестной функции под знаком интеграла сначала переставляются переменные, а затем производится интегрирование по одной из переменных. В силу этого оператор M в уравнении (1) - не интегральный и не вполне непрерывный. Уравнение (1) с непрерывным ядром изучено В.И. Романовским в [1] с применением методов, аналогичных методу Фредгольма. Более общие классы уравнений типа Романовского с частными интегралами изучены в [2]. Найти точное решение интегральных уравнений Романовского удаётся в редких случаях. Поэтому в работе изучается приближённое решение частично интегрального уравнения Романовского

$$x(t,s) = \int_a^b m(t,s,\sigma)x(\sigma,t)d\sigma + f(t,s) \equiv (Mx)(t,s) + f(t,s). \qquad (2)$$

Пусть $D = [a,b]\times[a,b]$, $C = C(D)$ — пространство непрерывных на D функций, L^1 - пространство суммируемых на $[a,b]$ функций, $C(L^1)$ - пространство непрерывных по $(t,s)\in D$ вектор-функций со значениями в L^1 и ядро $m\in C(L^1)$.

В силу [2] оператор M действует и ограничен в C, при этом оператор

$(M^2x)(t,s) = \int_a^b\int_a^b m(t,s,\sigma)m(\sigma,t,\sigma_1)x(\sigma_1,\sigma)d\sigma_1 d\sigma$, с ядром $m(t,s,\cdot)m(\cdot,t,\cdot)\in C(L^1(D))$, где $C(L^1(D))$ - пространство непрерывных по $(t,s)\in D$ вектор-функций со значениями в $L^1(D)$, есть вполне непрерывный интегральный оператор в C [3]. Поэтому для уравнения (2) с ядром из $C(L^1)$ имеют место теоремы Фредгольма.

Вместе с уравнением (2) рассмотрим интегральное уравнение

$$x(t,s) = (M^2x)(t,s) + (Mf)(t,s) + f(t,s). \qquad (3)$$

В дальнейшем будем считать уравнение $x = Ax + f$ с линейным ограниченным в C оператором A обратимым в C если в C обратим оператор $I - A$ а через $\sigma(A)$ будем обозначать спектр оператора A. С применением теоремы об отображении спектров [4] доказывается

Теорема 1. *Пусть* $m \in C(L^1)$ *и* f *— произвольная функция из* C*. Тогда справедливы утверждения:*

а) если $1 \notin \sigma(M^2)$*, то в* C *уравнение (2) и интегральное уравнение Фредгольма второго рода (3) эквивалентны и обратимы;*

б) если $1 \in \sigma(M^2)$ *и* $-1 \notin \sigma(M)$*, то в* C *уравнения (2) и (3) эквивалентны.*

Предположим, что выполнено условие теоремы 1. Тогда в C уравнения (2) и (3) эквивалентны. Пусть $k(t,s,\sigma,\sigma_1) = m(t,s,\sigma)m(\sigma,t,\sigma_1)$, где $m \in C(L^1)$. Так как функция $k(t,s,\sigma,\sigma_1)$ непрерывна по $(t,s) \in D$ как вектор-функция со значениями в $L^1(D)$, то $k(t,s,\sigma,\sigma_1) = k_0(t,s,\sigma,\sigma_1) + \sum_{j=1}^{n} k_j(t,s)\tilde{k}_j(\sigma,\sigma_1)$ и $\sup_{(t,s)\in D} \int_a^b \int_a^b |k_0(t,s,\sigma,\sigma_1)| d\sigma d\sigma_1 < 1$, где k_j и $\tilde{k}_j$ - непрерывные функции на D, причём функции k_j линейно независимы, а функции $\tilde{k}_j$ ортонормированы.

Подставляя $k(t,s,\sigma,\sigma_1) = k_0(t,s,\sigma,\sigma_1) + \sum_{j=1}^{n} k_j(t,s)\tilde{k}_j(\sigma,\sigma_1)$ в (3) получим,

$$x(t,s) = (K_0 x)(t,s) + (Kx)(t,s) + g(t,s), \tag{4}$$

где $g(t,s) = \int_a^b m(t,s,\sigma) f(\sigma,t) d\sigma + f(t,s)$, $(K_0 x)(t,s) = \int_a^b \int_a^b k_0(t,s,\sigma,\sigma_1) x(\sigma_1,\sigma) d\sigma_1 d\sigma$,

$(Kx)(t,s) = \sum_{j=1}^{n} k_j(t,s) \int_a^b \int_a^b \tilde{k}_j(\sigma,\sigma_1) x(\sigma_1,\sigma) d\sigma_1 d\sigma$, $\|K_0\| = \sup_{(t,s)\in D} \int_a^b \int_a^b |k_0(t,s,\sigma,\sigma_1)| d\sigma d\sigma_1 < 1$ и

$$(I - K_0)^{-1} x(t,s) = x(t,s) + \int_a^b \int_a^b r(t,s,\sigma,\sigma_1) x(\sigma_1,\sigma) d\sigma_1 d\sigma, \tag{5}$$

где $r(t,s,\sigma,\sigma_1) = \sum_{i=1}^{\infty} k_0^{(i)}(t,s,\sigma,\sigma_1)$, $k_0^{(1)}(t,s,\sigma,\sigma_1) = k_0(t,s,\sigma,\sigma_1)$ и $k_0^{(i)}(t,s,\sigma,\sigma_1) = \int_a^b \int_a^b k_0^{(i-1)}(t,s,\tilde{\sigma},\tilde{\sigma}_1) k_0(\tilde{\sigma},\tilde{\sigma}_1,\sigma,\sigma_1) d\tilde{\sigma}_1 d\tilde{\sigma}$ $(i = 2,3,\ldots)$. Тогда уравнение (4) можно записать в виде $x(t,s) = (I - K_0)^{-1}(Kx)(t,s) + (I - K_0)^{-1} g(t,s)$. Отсюда и (5) получим интегральное уравнение с вырожденным ядром: $x(t,s) = \int_a^b \int_a^b \sum_{j=1}^{n} q_j(t,s)\tilde{k}_j(\sigma,\sigma_1) x(\sigma,\sigma_1) d\sigma_1 d\sigma + h(t,s)$, где

$q_j(t,s) = k_j(t,s) + \int_a^b \int_a^b r(t,s,\sigma,\sigma_1) k_j(\sigma,\sigma_1) x(\sigma,\sigma_1) d\sigma_1 d\sigma$,

$h(t,s) = g(t,s) + \int_a^b \int_a^b r(t,s,\sigma,\sigma_1) g(\sigma,\sigma_1) d\sigma_1 d\sigma$. Полагая $x_j = \int_a^b \int_a^b \tilde{k}_j(\sigma,\sigma_1) x(\sigma,\sigma_1) d\sigma_1 d\sigma$,

$e_{jk} = \int_a^b \int_a^b \tilde{k}_j(\sigma,\sigma_1) q_k(\sigma,\sigma_1) d\sigma_1 d\sigma$, $h_j = \int_a^b \int_a^b \tilde{k}_j(\sigma,\sigma_1) h(\sigma,\sigma_1) d\sigma_1 d\sigma$ $(j,k = 1,\ldots,n)$, получим систему линейных алгебраических уравнений

$$x_j = \sum_{k=1}^{n} e_{jk} x_k + h_j \ (j = 1,\ldots,n). \tag{6}$$

Таким образом, справедлива

Теорема 2. *Пусть* $m \in C(L^1)$ *и* $f \in C$*. Тогда справедливы утверждения:*

а) если главный определитель системы (6) не равен нулю, то уравнение (2) имеет единственное непрерывное на D *решение;*

б) если главный определитель системы (6) равен нулю, то в C *уравнение (2) либо не имеет решений, либо имеет конечное число линейно независимых решений.*

При приближённом решении в C уравнения (2) с ядром из $C(L^1)$ и непрерывной функцией $f(t,s)$ достаточно эффективна замена ядра на вырожденное. Будем предполагать, что уравнение (2) с ядром $m \in C(L^1)$ и функцией $f \in C$ обратимо в C. В силу устойчивости обратимости относительно достаточно малых возмущений [5] найдётся такое $\varepsilon > 0$ что уравнение

$$\tilde{x}(t,s) = \int_a^b \tilde{m}(t,s,\sigma)x(\sigma,t)d\sigma + f(t,s) \equiv (\tilde{M}x)(t,s) + f(t,s) \tag{7}$$

обратимо при $\left\|M - \tilde{M}\right\| < \varepsilon$.

Решения уравнений (2) и (7) запишем в виде $x = (I-M)^{-1} f$, $\tilde{x} = (I-\tilde{M})^{-1} f$. В силу равенства $(I-M)^{-1} - (I-\tilde{M})^{-1} = (I-M)^{-1}(I-(I-M)(I-\tilde{M})^{-1}) = (I-M)^{-1}(I-\tilde{M})^{-1}((I-\tilde{M})-(I-M)) = (I-M)^{-1}(I-\tilde{M})^{-1}(M-\tilde{M})$ получим

$$\left\|(I-M)^{-1} - (I-\tilde{M})^{-1}\right\| \le \left\|(I-M)^{-1}\right\|\left\|(I-\tilde{M})^{-1}\right\|\left\|M-\tilde{M}\right\| \le c\left\|M-\tilde{M}\right\|, \tag{8}$$

где c - некоторая константа. Если теперь

$$|\, m(t,s,\sigma) - \tilde{m}(t,s,\sigma)\,| < \varepsilon / c(b-a), \tag{9}$$

то из (8), (9) и формулы для нормы оператора Романовского [2] имеем $\left\|(I-M)^{-1} - (I-\tilde{M})^{-1}\right\| \le c\left\|M-\tilde{M}\right\| < \varepsilon$. Таким образом, операторы $(I-M)^{-1}$ и $(I-\tilde{M})^{-1}$ достаточно мало отличаются по норме, если ядра уравнений (2) и (7) достаточно близки. Учитывая (8), получим следующую оценку:

$$\left\|x - \tilde{x}\right\| \le c\left\|M-\tilde{M}\right\|\left\|f\right\|, \tag{10}$$

которая показывает, что число $\left\|x-\tilde{x}\right\|$ достаточно мало, если выполнено неравенство (9). Оценка (10) связана с оценкой константы c. В общем случае эффективные оценки константы c неизвестны. Однако любые известные оценки сверху чисел $\left\|(I-M)^{-1}\right\|$ и $\left\|(I-\tilde{M})^{-1}\right\|$ приводят к оценке сверху константы c.

Покажем, что замена ядра уравнения (2) на вырожденное ядро приводит к уравнению Романовского, решение которого строится явно. Пусть в (7)

$$\tilde{m}(t,s,\sigma) = \sum_{j=1}^{n} l_j(t)m_j(s)n_j(\sigma), \tag{11}$$

где l_j, m_j, n_j — заданные на $[a,b]$ непрерывные функции. Подставляя (11) в (7), получим уравнение $\tilde{x}(t,s) = \sum_{j=1}^{n} l_j(t)m_j(s)\int_a^b n_j(\sigma)\tilde{x}(\sigma,t)d\sigma + f(t,s)$. Положим

$$\tilde{x}_j(t) = \int_a^b n_j(\sigma)\tilde{x}(\sigma,t)d\sigma \ (j=1,\ldots,n). \tag{12}$$

Тогда $\tilde{x}(t,s) = \sum_{j=1}^{n} l_j(t)m_j(s)\tilde{x}_j(t) + f(t,s)$. Отсюда и (12) имеем систему

$$\tilde{x}_j(t) = \sum_{k=1}^{n} m_k(t)\int_a^b l_{jk}(\sigma)\tilde{x}_k(\sigma)d\sigma + f_j(t) \ (j=1,\ldots,n), \tag{13}$$

где $l_{jk}(\sigma) = l_k(\sigma)n_j(\sigma)$, $f_j(t) = \int_a^b n_j(\sigma)f(\sigma,t)d\sigma$. Полагая $\tilde{x}_{jk} = \int_a^b l_{jk}(\sigma)\tilde{x}_k(\sigma)d\sigma$ в (13), получим

$$\tilde{x}_j(t) = \sum_{p=1}^{n} m_p(t)\tilde{x}_{jp} + f_j(t) \ (j=1,\ldots,n). \tag{14}$$

Подставляя (14) в формулу для $\tilde{x}_{jk} = \int_a^b l_{jk}(\sigma)\tilde{x}_k(\sigma)d\sigma$, получим систему

$$\tilde{x}_{jk} = \sum_{p=1}^{n} \tilde{x}_{jp}d_{pjk} + f_{jk} \ (j,k=1,\ldots,n), \tag{15}$$

где $d_{pjk} = \int_a^b l_k(\sigma) m_p(\sigma) n_j(\sigma) d\sigma$, $f_{jk} = \int_a^b l_k(\sigma) n_j(\sigma) f_j(\sigma) d\sigma$.

Таким образом, интегральное уравнение Романовского (7) с вырожденным ядром (11) сводится к системе (15), решение которой можно найти как объединение решений n систем, получающихся из (15) при каждом фиксированном $j = 1,\ldots, n$. Так как уравнение (7) имеет единственное решение, то каждая из этих систем имеет единственное решение. Следовательно, система (15) имеет единственное решение. Подставляя найденное решение системы (15) в (14), получим $\tilde{x}_j(t)$ $(j = 1,\ldots,n)$. Решение уравнения (7) получается теперь подстановкой найденных $\tilde{x}_j(t)$ $(j = 1,\ldots,n)$ в $\tilde{x}(t,s) = \sum_{j=1}^{n} l_j(t) m_j(s) \tilde{x}_j(t) + f(t,s)$.

Другой метод приближённого решения уравнения (2) связан с переходом к эквивалентной задаче для системы линейных интегральных уравнений Фредгольма второго рода с параметром и последующим приближённым решением этой задачи. Действительно, пусть $y(t,s) = 1/2(x(t,s) + x(s,t))$, $y(t,s) = 1/2(x(t,s) + x(s,t)), z(t,s) = 1/2(x(t,s) - x(s,t))$, $g(t,s) = 1/2(f(t,s) + f(s,t))$, $h(t,s) = 1/2(f(t,s) - f(s,t)), k(t,s,\sigma) = 1/2(m(t,s,\sigma) + m(s,t,\sigma))$, $l(t,s,\sigma) = 1/2(m(t,s,\sigma) - m(s,t,\sigma))$. Тогда $x = y + z$, $f = g + h, m = k + l, y(t,s) = y(s,t)$, $z(t,s) = -z(s,t)$, $g(t,s) = g(s,t), h(t,s) = -h(s,t)$, $k(t,s,\sigma) = k(s,t,\sigma), l(t,s,\sigma) = -l(s,t,\sigma)$, а уравнение (2) записывается в виде системы интегральных уравнений Фредгольма с параметром t, в которой неизвестная функция удовлетворяет дополнительному условию $y(t,s) = y(s,t), z(t,s) = -z(s,t)$. Эта система имеет единственное непрерывное на D решение $(y(t,s), z(t,s))$ при $1 \notin \sigma(M)$. Поэтому приближённое решение уравнения (2) сводится к приближённому решению этой системы и проверке равенств $y(t,s) = y(s,t), z(t,s) = -z(s,t)$, понимаемых при этом как приближённые равенства.

Ещё один метод приближённого решения уравнения (2) при $\pm 1 \notin \sigma(M)$ связан с переходом к интегральному уравнению Фредгольма второго рода (3) и заменой в (3) ядра по формуле $k(t,s,\sigma,\sigma_1) = k_0(t,s,\sigma,\sigma_1) + \sum_{j=1}^{n} k_j(t,s) \tilde{k}_j(\sigma,\sigma_1)$, в которой функция $k_0(t,s,\sigma,\sigma_1)$ выбирается равной нулю, а сумма выбирается так, чтобы $\sup_{(t,s)\in D)} \int_a^b \int_a^b | k(t,s,\sigma,\sigma_1) - \sum_{j=1}^{n} k_j(t,s) \tilde{k}_j(\sigma,\sigma_1) | d\sigma d\sigma_1 < \varepsilon$, где $\varepsilon > 0$ - сколь угодно малое число. В результате получается уравнение Фредгольма второго рода с вырожденным ядром: $x(t,s) = \int_a^b \int_a^b \sum_{j=1}^{n} k_j(t,s) \tilde{k}_j(\sigma,\sigma_1) x(\sigma_1,\sigma) d\sigma_1 d\sigma + g(t,s)$, где функция $g(t,s)$ определяется так же, как в (4). При достаточно малом $\varepsilon > 0$ это уравнение обратимо и решается стандартным образом.

Список литературы

1. *Romanovskij V.I.* Sur une classe d'equations integrales lineares// Acta Math. 59, 99–208 (1932).
2. *Калитвин А.С.* Интегральные уравнения типа Романовского с частными интегралами. Липецк: ЛГПУ, 2007. 195 с.
3. *Забрейко П.П., Кошелев А.И., Красносельский М.А. и др.* Интегральные уравнения. М.: Наука, 1968. 448 с.
4. *Канторович Л.В., Акилов Г.П.* Функциональный анализ. М.: Наука, 1984. 752 с.
5. *Крейн С.Г.* Линейные уравнения в банаховом пространстве. М.: Наука, 1971. 104с.

01.01.00

Н.И. Попова, Ю.В. Швец, Н.В. Миллер, Т.В. Хомченко

Сибирский государственный университет путей сообщения,
инженерно-экономический факультет, кафедра высшей математики,
Новосибирск, kryne_ni@mail.ru

О НЕКОТОРЫХ ПРЕДСТАВЛЕНИЯХ ИНТЕГРАЛА ФРЕНЕЛЯ

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-5-29-34

Работа посвящена вычислению некоторых несобственных интегралов Френеля, которые часто встречаются в различных приложениях, например, они естественно возникают в физике в разделе оптика при расчете дифракции. Установлено, что рассматриваемые интегралы выражаются через некоторые суммы, где в качестве слагаемых выступают произведения сочетаний и тригонометрических функций. Кроме того, в работе для данных определенных интегралов установлены рекуррентные соотношения.

Ключевые слова: *интеграл, определенный интеграл, интеграл Френеля, несобственный интеграл, интегральное предста*вление.

Введение

В различных областях математического анализа и приложениях широко используется интеграл $\int_0^\infty \cos a^2 x^2 dx$, который называется интегралом Френеля.

Интегралы Френеля – это специальные функции, названные в честь Огюстена Жана Френеля. Они возникают при расчете дифракции. Их еще называют интегралами дифракции. Это связано с той ролью, которую они играют в оптике [1].

Так, изучая распределение световой энергии в пространстве, М.М. Русинов[2] отмечает, что интегралы $\int_0^\infty \cos\frac{\pi x^2}{2} dx$ и $\int_0^\infty \sin\frac{\pi x^2}{2} dx$ позволяют описать общую картину распределения световой энергии в окрестности некоторой точки.

Еще одним примером применения интегралов Френеля является один классический результат, принадлежащий В.А. Фоку [3]. Рассматривая дифракцию на шаре, В. А. Фок показал, что для тел с конечной кривизной главный член в выражении для поля в области за телом выражается через интеграл Френеля. Этот результат представляется важным, так как В.А. Фоку принадлежит строгая теория дифракции волн вокруг Земли.

Обобщением интеграла $\int_0^\infty \cos a^2 x^2 dx$ является несобственный интеграл

$$\int_0^\infty \cos a^2 x^2 \cos mx\, dx$$

Известно, что для этого интеграла справедливо равенство:

$$\int_0^\infty \cos a^2 x^2 \cos mx\, dx = \frac{\sqrt{\pi}}{2a}\cos\left(\frac{\pi}{4} - \frac{m^2}{4a^2}\right).$$

Этот несобственный интеграл имеет чрезвычайно широкую область применения в математическом анализе.

Цель нашего исследования состоит в выведении формул для вычисления интегралов $I_{2m}=\int_0^{\infty}\cos a^2x^2\cos^{2m}lxdx$, $I_{2m-1}=\int_0^{\infty}\cos a^2x^2\cos^{2m-1}lxdx$, где m — любое натуральное число. Кроме того, в работе устанавливаются рекуррентные соотношения для интегралов данного вида.

Сформулируем основные результаты работы.

1. Основные результаты

Основные результаты работы сформулированы ниже в виде следующих утверждений:

Теорема 1. Справедливо соотношение:

$$\mathrm{I}_{2m}=\frac{\sqrt{\pi}}{2^{2m}a}\left(\frac{\sqrt{2}}{2}C_{2m-1}^{m}+\sum_{k=1}^{m}C_{2m}^{m+k}\cos\left(\frac{\pi}{4}-\frac{(2kl)^2}{4a^2}\right)\right) \quad (1)$$

Теорема2.Имеет место равенство:

$$I_{2m-1}=\frac{\sqrt{\pi}}{2^{2m-1}a}\sum_{k=1}^{m}C_{2m-1}^{m-k}\cdot\cos\left(\frac{\pi}{4}-\frac{(2k-1)^2l^2}{4a^2}\right) \quad (2)$$

Теорема3. Справедливо соотношение:

$$I_{2m+2}=I_{2m}+\frac{\sqrt{\pi}}{2^{m+2}a}\left(\sum_{k=1}^{m}\frac{4k^2-2m-2}{(m+1)^2-k^2}\mathrm{C}_{2m}^{m+k}\cos\left(\frac{\pi}{4}-\frac{(2\,\mathrm{kl})^2}{4a^2}\right)+\cos\left(\frac{\pi}{4}-\frac{(2(m+1)l)^2}{4a^2}\right)-\frac{\sqrt{2}}{m-1}C_{2m-1}^{m+1}\right) \quad (3)$$

Теорема4. Имеет место рекуррентное соотношение:

$$I_{2m+1}=I_{2m-1}+\frac{\sqrt{\pi}}{2^{2m+1}a}\left(\sum_{k=1}^{m}\frac{(2k-1)^2-(2m+1)}{2m(2m+1)}C_{2m+1}^{m+k}\cdot\cos\left(\frac{\pi}{4}-\frac{(2k-1)^2l^2}{4a^2}\right)+\cos\left(\frac{\pi}{4}-\frac{(2m+1)^2l^2}{4a^2}\right)\right) \quad (4)$$

В формулах вышеприведенных теорем, a – любое положительное число, m – любое натуральное число. Кроме того, C_n^k - это число сочетаний из n по k элементов.

2. Вспомогательное утверждение

В данном разделе устанавливаются вспомогательные утверждения, необходимые для доказательства основных теорем.

Лемма 1. Справедливо соотношение:

$$C_{2m+1}^{m+1}-4C_{2m-1}^{m}=-\frac{2}{m-1}C_{2m-1}^{m+1} \quad (5)$$

Доказательство. Из определения числа сочетаний $C_n^k=\frac{n!}{k!(n-k)!}$ имеем:

$$C_{2m+1}^{m+1}-4C_{2m-1}^{m}=\frac{(2m+1)!}{(m+1)!m!}-4\frac{(2m-1)!}{m!(m-1)!}=\frac{(2m+1)!-4(2\,\mathrm{m}-1)!\mathrm{m}\cdot(\mathrm{m}+1)}{(m+1)!m!}=$$

$$=\frac{(2m-1)!\left((2m+1)\cdot2m-4m\cdot(m+1)\right)}{(m+1)!\mathrm{m}!}=-\frac{(2m-1)!\cdot2m}{(m+1)!m!}=-\frac{2}{m-1}C_{2m-1}^{m+1}$$

Лемма 1 доказана.

Лемма 2. Имеет место равенство:

$$C_{2m+2}^{m+k+1}-4C_{2m}^{m+k}=\frac{4k^2-2m-2}{(\mathrm{m}+1)^2-k^2}C_{2m}^{m+k} \quad (6)$$

Доказательство. Из определения сочетаний имеем:

$$C_{2m+2}^{m+k+1}-4C_{2m}^{m+k}=\frac{(2\,\mathrm{m}+2)!}{(\mathrm{m}+\mathrm{k}+1)!(\mathrm{m}-\mathrm{k}+1)!}-\frac{4(2m)!}{(m+k)!(m-k)!}=\frac{(2\,\mathrm{m}+2)!-4(2\,\mathrm{m})!(\mathrm{m}+\mathrm{k}+1)(\mathrm{m}-\mathrm{k}+1)}{(m+k+1)!(m-k+1)!}=$$

$$=\frac{(2\,\mathrm{m})!\left((2m+2)(2m+1)-4(m+k+1)(m-k+1)\right)}{(m+k+1)!(m-k+1)!}$$

Заметим, что

$$(2m+2)(2m+1)-4(m+k+1)(m-k+1)=4m^2+6m+2-4m^2-8m-4+4k^2=$$

$$=4k^2-2m-2$$

Отсюда имеем

$$C_{2m+2}^{m+k+1}-4C_{2m}^{m+k}=\frac{(2m)!(4k^2-2m-2)}{(m+k+1)!(m-k+1)!}=\frac{4k^2-2m-2}{(\mathrm{m+k+1})(\mathrm{m-k+1})}C_{2m}^{m+k}=\frac{4k^2-2m-2}{(m+1)^2-k^2}C_{2m}^{m+k}$$

Лемма 2 доказана.

Лемма 3. Справедливо равенство:

$$4C_{2n-1}^{n-k}-C_{2n+1}^{n+1-k}=\frac{(2n+1)-(2k-1)^2}{2n(2n+1)}C_{2n+1}^{n+k}. \quad (7)$$

Доказательство. Имеем:

$$4C_{2n-1}^{n-k}-C_{2n+1}^{n+1-k}\frac{4(2n-1)!}{(n+k-1)!(n-k)!}-\frac{(2n+1)!}{(n+k)!(n-k+1)!}=\frac{4(2\,\mathrm{n}-1)!(n-k+1)(\mathrm{n+k})}{(\mathrm{n-k+1})!(\mathrm{n+k})!}-\frac{(2\,\mathrm{n}+1)!}{(n+k)!(\mathrm{n-k+1})!}$$

Так как $(2\,\mathrm{n}+1)!=(2\,\mathrm{n}-1)!\cdot 2\,\mathrm{n}\cdot(2\,\mathrm{n}+1)$, получаем

$$4C_{2n-1}^{n-k}-C_{2n+1}^{n+1-k}=\frac{4(2n-1)!(n-k+1)(n+k)-(2n+1)!}{(n-k+1)!(n+k)!}=\frac{(2n-1)!(2n+4k-4k^2)}{(n-k+1)!(n+k)!}=$$

$$=\frac{(2n+1)-(2k-1)^2}{2n(2n+1)}C_{2n+1}^{n+k}.$$

Лемма 3 доказана.

3. Доказательство основных результатов

В данном разделе устанавливается справедливость теорем 1-4.

Доказательство теоремы1.

Для вычисления несобственного интеграла $I_{2m}=\int_0^\infty \cos a^2x^2\cos^{2m}lxdx$ воспользуемся формулой, позволяющей вычислять произвольную натуральную четную степень косинуса через специальные суммы косинусов первых степеней [4].

$$\cos^{2m}\alpha=\frac{1}{2^{2m-1}}(\mathrm{C}_{2m-1}^{m}+\sum_{k=1}^{m}C_{2m}^{m+k}\cos 2k\alpha). \quad (8)$$

Тогда из равенства (8) имеем:

$$I_{2m}=\int_0^\infty \cos a^2x^2\,\frac{1}{2^{2m-1}}(\mathrm{C}_{2m-1}^{m}+\sum_{k=1}^{m}C_{2m}^{m+k}\cos 2klx)dx\ .$$

Представим данное выражение как сумму двух интегралов. Имеем:

$$\mathrm{I}_{2m}=\frac{1}{2^{2m-1}}C_{2m-1}^{m}\int_0^\infty \cos a^2x^2dx+\frac{1}{2^{2m-1}}\cdot\sum_{k=1}^{m}C_{2m}^{m+k}\int_0^\infty \cos a^2x^2\cdot\cos 2klxdx \quad (9)$$

.

Заметим, что согласно [5] справедливы равенства:

$$\int_0^\infty \cos a^2x^2dx=\frac{\sqrt{\pi}}{2a}\cos\frac{\pi}{4}=\frac{\sqrt{2\pi}}{4a}\ ; \quad (10)$$

$$\int_0^\infty \cos a^2x^2\cdot\cos 2mlxdx=\frac{\sqrt{\pi}}{2a}\cos(\frac{\pi}{4}-\frac{(2kl)^2}{4a^2}) \quad (11)$$

.

Из соотношений (9), (10), (11) получаем:

$$\mathrm{I}_{2m}=\frac{\sqrt{\pi}}{2^{2m}}(\frac{\sqrt{2}}{2}C_{2m-1}^{m}+\sum_{k=1}^{m}C_{2m}^{m+k}\cos(\frac{\pi}{4}-\frac{(2kl)^2}{4a^2}).$$

Теорема 1. доказана.

Доказательство теоремы 2.

Для вычисления несобственного интеграла $I_{2m-1}=\int_0^{\infty}\cos a^2x^2\cos^{2m-1}lxdx$ воспользуемся формулой из работы [4]. Имеем:

$$\cos^{(2m-1)}\alpha=\frac{1}{2^{2m-2}}\sum_{k=1}^{m}C_{2m-1}^{m-k}\cos(2k-1)\alpha\,. \qquad (12)$$

Из равенства (12) следует:

$$I_{2m-1}=\int_0^{\infty}\cos a^2x^2\cdot\frac{1}{2^{2m-2}}\sum_{k=1}^{m}C_{2m-1}^{m-k}\cos(2k-1)lxdx=\frac{1}{2^{2m-2}}\sum_{k=1}^{m}C_{2m-1}^{m-k}\int_0^{\infty}\cos a^2x^2\cos(2k-1)lxdx\,.$$

Применяя формулу (11) получаем:

$$I_{2m-1}=\frac{\sqrt{\pi}}{2^{2m-1}a}\sum_{k=1}^{m}C_{2m-1}^{m-k}\cdot\cos(\frac{\pi}{4}-\frac{(2k-1)^2l^2}{4a^2})\,.$$

Теорема 2. доказана.

Доказательство теоремы 3.

Для вычисления рекуррентного соотношения $I_{2m+2}-I_{2m}=\int_0^{\infty}\cos a^2x^2\cos^{2m+2}lxdx-\int_0^{\infty}\cos a^2x^2\cos^{2m}lxdx$ найдем несобственный интеграл $I_{2m+2}=\int_0^{\infty}\cos a^2x^2\cos^{(2m+2)}lxdx$. Применяя формулы из [4] выводим:

$$I_{2m+2}=\int_0^{\infty}\cos a^2x^2\cos^{2m+2}lxdx=\int_0^{\infty}\cos a^2x^2\cdot\frac{1}{2^{2m+1}}(C_{2m+1}^{m+1}+\sum_{k=1}^{m+1}C_{2n+2}^{k+m+1}\cos 2lx)\,\mathrm{dx}\,.$$

Представим данный интеграл как сумму двух интегралов.

$$I_{2m+2}=\int_0^{\infty}\cos a^2x^2\cos^{2m+2}lxdx=\frac{1}{2^{2m+1}}\int_0^{\infty}\cos a^2x^2\cdot C_{2m+1}^{m+1}dx+\frac{1}{2^{2m+1}}\sum_{k=1}^{m+1}C_{2m+2}^{k+m+1}\int_0^{\infty}\cos a^2x^2\cos 2lxdx\,.$$

Из соотношений (10) и (11) получаем:

$$I_{2m+2}=\frac{\sqrt{\pi}}{2^{2m+2}a}(\frac{\sqrt{2}}{2}C_{2m+1}^{m+1}+\sum_{k=1}^{m+1}C_{2m+2}^{m+k+1}\cos(\frac{\pi}{4}-\frac{(2kl)^2}{4a^2}) \qquad . \qquad (13)$$

Используя (1) и (13), вычислим рекуррентное соотношение:

$$I_{2m+2}-I_{2m}=\frac{\sqrt{\pi}}{2^{2m+2}a}(\frac{\sqrt{2}}{2}C_{2m+1}^{m+1}+\sum_{k=1}^{m+1}C_{2m+2}^{m+k+1}\cos(\frac{\pi}{4}-\frac{(2kl)^2}{4a^2})-\frac{\sqrt{\pi}}{2^{2m}}(\frac{\sqrt{2}}{2}C_{2m-1}^{m}+\sum_{k=1}^{m}C_{2m}^{m+k}\cos(\frac{\pi}{4}-\frac{(2kl)^2}{4a^2})$$

В данном выражении приведем подобные слагаемые:

$$I_{2m+2}-I_{2m}=(\frac{\sqrt{\pi}}{2^{m+2}a}\frac{\sqrt{2}}{2}C_{2m+1}^{m+1}-\frac{\sqrt{\pi}}{2^{m}a}\frac{\sqrt{2}}{2}C_{m-1}^{m})+(\frac{\sqrt{\pi}}{2^{m+2}a}\sum_{k=1}^{m+1}C_{2m+2}^{k+m+1}\cos(\frac{\pi}{4}-\frac{(2kl)^2}{4a^2})-\frac{\sqrt{\pi}}{2^{m}a}\sum_{k=1}^{m}C_{2m}^{m+k}\cos(\frac{\pi}{4}-\frac{(2kl)^2}{4a^2})$$

Тогда:

$$I_{2m+2}-I_{2m}=\frac{\sqrt{\pi}}{2^{m+2}a}(\frac{\sqrt{2}}{2}(C_{2m+1}^{m+1}-4C_{2m-1}^{m})+\sum_{k=1}^{m}(C_{2m+2}^{m+k+1}-4C_{2m}^{m+k})\cos(\frac{\pi}{4}-\frac{(2\,\mathrm{kl})^2}{4a^2})+\cos(\frac{\pi}{4}-\frac{(2(m+1)l)^2}{4a^2}))\,.$$

В силу лемм 1, 2 имеем:

$$I_{2m+2}-I_{2m}=\frac{\sqrt{\pi}}{2^{m+2}a}(\frac{\sqrt{2}}{2}\cdot(-\frac{2}{m-1})C_{2m-1}^{m+1}+\sum_{k=1}^{m}\frac{4k^2-2m-2}{(m+1)^2-k^2}C_{2m}^{m+k}\cos(\frac{\pi}{4}-\frac{(2\,\mathrm{kl})^2}{4a^2})+\cos(\frac{\pi}{4}-\frac{(2(m+1)l)^2}{4a^2}))$$

Из данного равенства получаем:

$$I_{2m+2}=I_{2m}+\frac{\sqrt{\pi}}{2^{m+2}a}(\sum_{k=1}^{m}\frac{4k^2-2m-2}{(m+1)^2-k^2}C_{2m}^{m+k}\cos(\frac{\pi}{4}-\frac{(2\,\mathrm{kl})^2}{4a^2})+\cos(\frac{\pi}{4}-\frac{(2(m+1)l)^2}{4a^2})-\frac{\sqrt{2}}{m-1}C_{2m-1}^{m+1})\,.$$

Теорема 3. доказана.

Доказательство теоремы 4.
Найдем рекуррентное соотношение:

$$I_{2m+1} - I_{2m-1} = \int_0^{\infty} \cos a^2x^2 \cos^{2m+1} lxdx - \int_0^{\infty} \cos a^2x^2 \cos^{2m-1} lxdx$$

Для этого вычислим интеграл $\int_0^{\infty} \cos a^2x^2 \cos^{2m-1} lxdx$

Воспользуемся следующей формулой [4]:

$$\cos^{(2m+1)} \alpha = \frac{1}{2^{2m}} \sum_{k=1}^{m+1} C_{2m+1}^{m-k+1} \cos(2k-1)\alpha \qquad (14)$$

.

Из равенства (14) следует:

$$I_{2m+1} = \int_0^{\infty} \cos a^2x^2 \cdot \frac{1}{2^{2m}} \sum_{k=1}^{m+1} C_{2m+1}^{m-k+1} \cos(2k-1) lxdx = \frac{1}{2^{2m}} \sum_{k=1}^{m+1} C_{2m+1}^{m-k+1} \int_0^{\infty} \cos a^2x^2 \cdot \cos(2k-1) lxdx \qquad (15)$$

.

Применяя в формуле (15) формулу (11) получаем:

$$I_{2m+1} = \frac{\sqrt{\pi}}{2^{2m+1}a} \sum_{k=1}^{m+1} C_{2m+1}^{m-k+1} \cos(\frac{\pi}{4} - \frac{(2k-1)^2 l^2}{4a^2}) \qquad (16)$$

Используя равенства (2) и (16) находим:

$$I_{2m+1} - I_{2m-1} = \frac{\sqrt{\pi}}{2^{2m+1}a} \sum_{k=1}^{m+1} C_{2m+1}^{m-k+1} \cos(\frac{\pi}{4} - \frac{(2k-1)^2 l^2}{4a^2}) - \frac{\sqrt{\pi}}{2^{2m-1}a} \sum_{k=1}^{m} C_{2m-1}^{m-k} \cdot \cos(\frac{\pi}{4} - \frac{(2k-1)^2 l^2}{4a^2}) =$$

$$= \frac{\sqrt{\pi}}{2^{2m+1}a} \cos(\frac{\pi}{4} - \frac{(2k-1)^2 l^2}{4a^2}) (\sum_{k=1}^{m+1} C_{2m+1}^{m-k+1} - 4\sum_{k=1}^{m} C_{2m}^{m-k}) \qquad (17)$$

.

Из равенства (7) следует, что

$$I_{2m+1} - I_{2m-1} = \frac{\sqrt{\pi}}{2^{2m+1}a} (\sum_{k=1}^{m} \frac{(2k-1)^2 - (2m+1)}{2m(2m+1)} C_{2m+1}^{m+k} \cdot \cos(\frac{\pi}{4} - \frac{(2k-1)^2 l^2}{4a^2}) + \cos(\frac{\pi}{4} - \frac{(2m+1)^2 l^2}{4a^2}))$$

Теорема 4. доказана.

Соотношения (1) и (2) имеют наиболее простой вид при малых значениях*m*.
Справедливы следующие утверждения.
Следствие из теоремы 1.
Имеет место равенство:

$$I_2 = \frac{\sqrt{\pi}}{4a} (\frac{\sqrt{2}}{2} + \sum_{k=1}^{1} C_{2\cdot 1}^{1+1} \cos(\frac{\pi a^2 - l^2}{4a^2})$$

Доказательство.

Применяя формулу (1) и равенства $C_n^k = \frac{n!}{k!(n-k)!}$, при m=1имеем:

$$I_2 = \frac{\sqrt{\pi}}{4a} (\frac{\sqrt{2}}{2} C_{2-1}^{1} + \sum_{k=1}^{1} C_{2\cdot 1}^{1+1} \cos(\frac{\pi}{4} - \frac{(2kl)^2}{4a^2}) .$$

Заметим, что $C_n^n = 1$, тогда получим:

$$I_2 = \frac{\sqrt{\pi}}{4a} (\frac{\sqrt{2}}{2} + \sum_{k=1}^{1} C_{2\cdot 1}^{1+1} \cos(\frac{\pi a^2 - l^2}{4a^2}) .$$

Следствие 1 доказано.
Следствие 2. Справедливо равенство:

$$I_3 = \frac{\sqrt{\pi}}{2a} \cos(\frac{\pi a^2 - l^2}{4a^2}) .$$

Доказательство. Из формулы (2) и равенства $C_n^k = \frac{n!}{k!(n-k)!}$, при m=2 следует, что:

$$I_3 = \frac{\sqrt{\pi}}{2^3 a}\left(C_3^1 \cos\left(\frac{\pi}{4} - \frac{l^2}{4a^2}\right) + C_3^0 \cos\left(\frac{\pi}{4} - \frac{l^2}{4a^2}\right)\right) = \frac{\sqrt{\pi}}{2a}\cos\left(\frac{\pi a^2 - l^2}{4a^2}\right).$$

Следствие 2 доказано.

Следствие 3. Справедливо равенство:

$$I_4 = \frac{\sqrt{\pi}}{4a}\left(\frac{3\sqrt{2}}{2} + 4\cos\left(\frac{\pi a^2 - l^2}{4a^2}\right) + \cos\left(\frac{\pi a^2 - 4l^2}{4a^2}\right)\right).$$

Доказательство. Аналогично следствию 1 при *m*=2 получаем:

$$I_4 = \frac{\sqrt{\pi}}{4a}\left(\frac{\sqrt{2}}{2}C_{4-1}^2 + C_{2\cdot 2}^{2+1}\cos\left(\frac{\pi}{4} - \frac{(2l)^2}{4a^2}\right) + C_{2\cdot 2}^{2+2}\cos\left(\frac{\pi}{4} - \frac{(4l)^2}{4a^2}\right)\right),$$ вычислив сочетания C_4^3, C_3^2 и C_4^4 получим:

$$I_4 = \frac{\sqrt{\pi}}{4a}\left(\frac{3\sqrt{2}}{2} + 4\cos\left(\frac{\pi}{4} - \frac{l^2}{a^2}\right) + \cos\left(\frac{\pi}{4} - \frac{4l^2}{a^2}\right)\right).$$

Следствие 3 доказано.

Следствие 4. Имеет место интегральное представление:

$$I_5 \equiv \int_0^\infty \cos a^2 x^2 \cos^5 lx dx = \frac{\sqrt{\pi}}{32a}\left(10\cos\left(\frac{\pi}{4} - \frac{l^2}{4a^2}\right) + 5\cos\left(\frac{\pi}{4} - \frac{9l^2}{4a^2}\right) + \cos\left(\frac{\pi}{4} - \frac{25l^2}{4a^2}\right)\right).$$

Доказательство. Аналогично следствию 2 выводим:

$$I_5 = \frac{\sqrt{\pi}}{2^5 a}\left(C_5^2 \cos\left(\frac{\pi}{4} - \frac{l^2}{4a^2}\right) + C_5^1 \cos\left(\frac{\pi}{4} - \frac{9l^2}{4a^2}\right) + C_5^0 \cos\left(\frac{\pi}{4} - \frac{25l^2}{4a^2}\right)\right) =$$

$$= \frac{\sqrt{\pi}}{32a}\left(10\cos\left(\frac{\pi}{4} - \frac{l^2}{4a^2}\right) + 5\cos\left(\frac{\pi}{4} - \frac{9l^2}{4a^2}\right) + \cos\left(\frac{\pi}{4} - \frac{25l^2}{4a^2}\right)\right).$$

Следствие 4 доказано.

Список литературы

1. *Курант, Р.* Курс дифференциального исчисления / Р. Курант; пер. с нем. и англ. З. Г. Либина и Ю. Л. Рабиновича; под ред. К. А. Семендяева. – Том 2 – Изд. 2-е, перераб. доп. – М. : «НАУКА», 1970. – 671 с.

2. *Русинов М.М.* Техническая оптика / М.М. Русинов: Учеб. Пособие для вузов. – Л.: Машиностроение.1979, -488 с.

3. *Фок В.А.* Дифракция радиоволн вокруг земной поверхности./ В. А. Фок. — М.-Л.: АН СССР, 1946. – 589с.

4. *Пекельник Н.М., Хаустова О.И., Попова Н.И., Трефилова И.А.* Замечание об одном интегральном представлении // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 2-1. С. 33-37.

5. *Двайт, Г. Б.* Таблицы интегралов и другие математические формулы / Г. Б. Двайт ; пер. с англ. Н. В. Леви ; под ред. К. А. Семендяева. – Изд. 10-е, стер. – СПб. ; М. ; Краснодар : Лань, 2009. – 232 с.

01.01.01

Н.И. Трусова

Липецкий государственный педагогический университет
имени П.П. Семенова-Тян-Шанского,
институт естественных, математических и технических наук, кафедра математики и физики,
Липецк, trusova.nat@gmail.com

ОБ ОДНОМ КЛАССЕ СИСТЕМ ЛИНЕЙНЫХ УРАВНЕНИЙ ТИПА РОМАНОВСКОГО С ЧАСТНЫМИ ИНТЕГРАЛАМИ

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-5-35-37

Получены условия фредгольмовости одного класса систем линейных уравнений типа Романовсого с частными интегралами в пространстве непрерывно дифференцируемых функций.

Ключевые слова: *системы линейных уравнений типа Романовского, частные интегралы, фредгольмовость системы.*

1. Постановка задачи

К линейному интегральному уравнению

$$x(t,s) = \int_a^b m(t,s,\sigma)x(\sigma,t)d\sigma + f(t,s) \equiv (Rx)(t,s) + f(t,s). \qquad (1)$$

приводится задача теории марковских цепей с двухсторонней связью [1]. Это уравнение с непрерывным по совокупности переменных ядром $m(t,s,\sigma)$ исследовано В.И. Романовским в [1]. В уравнении (1) содержится частный интеграл, в котором у неизвестной функции сначала переставляются переменные и лишь затем производится интегрирование по одной из переменных. Поэтому линейный оператор R не является компактным оператором в пространстве непрерывных функций, оператор R не является и интегральным оператором в этом же пространстве. Более общие классы линейных интегральных уравнений типа Романоского изучались в [2].

Системы линейных интегральных уравнений Романовского

$$x_i(t,s) = \sum_{j=1}^{n}\int_a^b m_{ij}(t,s,\sigma)x_j(\sigma,t)d\sigma + f_i(t,s), i = 1,\ldots,n. \qquad (2)$$

исследовались в [3].

В данной работе изучаются системы линейных интегральных уравнений с линейными операторами с частными интегралами и линейными операторами типа оператора R.

Пусть $D = [a,b]\times[a,b]$, $C^{(1)}(D)$ - пространство непрерывно дифференцируемых на D функций и $C_n^{(1)}(D)$ - пространство вектор-функций

$$x(t,s) = (x_1(t,s),\ldots,x_n(t,s))^T,$$

где $x_j \in C^{(1)}(D)$ $(j = 1,\ldots,n)$, а T обозначает здесь и далее операцию транспонирования. Норма в пространстве $C_n^{(1)}(D)$ определяется равенством

$$\|x\|_{C_n^{(1)}(D)} = \max(\|x_1\|_{C^{(1)}(D)},\ldots,\|x_n\|_{C^{(1)}(D)}),$$

где $\|x_k\|_{C^{(1)}(D)}$ - норма функции x_k в пространстве $C^{(1)}(D)$ $(k = 1,\ldots,n)$.

Через П обозначим оператор перестановки переменных у функции $x(t,s)$, т.е. $\Pi : x(t,s) \to x(s,t)$.

В пространстве $C_n^{(1)}(D)$ рассмотрим системы интегральных уравнений Романовского с частными интегралами следующего вида:

$$x_i(t,s) = \int_a^b l_i(t,s,\tau)x_i(\tau,s)d\tau + \sum_{j=1}^n \int_a^b m_{ij}(t,s,\sigma)x_j(\sigma,t)d\sigma + f_i(t,s), i = 1,\ldots,n. \qquad (3)$$

Система (2) есть частный случай системы (3).

Через L_i, M_{ij} обозначим операторы

$$(L_i x_j)(t,s) = \int_a^b l_i(t,s,\tau)x_j(\tau,s)d\tau, (M_{ij}x_j)(t,s) = \int_a^b m_{ij}(t,s,\sigma)x_j(t,\sigma)d\sigma, i, j = 1,\ldots,n,$$

где $t,s,\tau,\sigma \in [a,b]$, функции $l_i(t,s,\tau), m_{ij}(t,s,\sigma)$ измеримы по совокупности переменных, а интегралы понимаются в смысле Лебега. Матричные операторы L и M определим равенствами

$$L = (\delta_{ij}L_i)_{i,j=1}^n, M = (M_{ij})_{i,j=1}^n,$$

где

$$\delta_{ij} = \begin{cases} 1, \text{ если } j = i, \\ 0, \text{ если } j \neq i. \end{cases}$$

Пусть

$$f(t,s) = (f_1(t,s),\ldots, f_n(t,s))^T.$$

При сделанных обозначениях систему (3) можно записать в виде уравнения

$$x = Lx + M\Pi x + f. (4)$$

2. Основные результаты

Будем называть линейное уравнение $x = Ax + f$, где A - ограниченный линейный оператор в банаховом пространстве X и $f \in X$, обратимым (фредгольмовым) уравнением в банаховом пространстве X, если оператор $I - A$ обратим (фредгольмов, т.е. имеет нулевой индекс).

Теорема 1. *Пусть* $f \in C_n^{(1)}(D)$ *и пусть* l_i, m_{ij} $(i, j = 1,\ldots,n)$ - *непрерывно дифференцируемые функции. Тогда в* $C_n^{(1)}(D)$ *фредгольмовость системы (3) равносильна фредгольмовости уравнения* $x = Lx + f$.

Доказательство. Уравнение (4) перепишем в виде

$$(I - L)(I - M\Pi)x = LM\Pi x + f. \qquad (5)$$

В силу теоремы Фубини оператор $LM\Pi$ допускает представление

$$(LM\Pi x)(t,s) = \sum_{j=1}^n \int_a^b \int_a^b l_i(t,s,\tau)m_{ij}(\tau,s,\sigma)x_j(\sigma,\tau)d\sigma d\tau, i = 1,\ldots,n. \qquad (6)$$

Так как функции l_i и m_{ij} непрерывно дифференцируемы при $i, j = 1,\ldots,n$ то ядро интегрального оператора

$$(A_{ij}x_j)(t,s) = \int_a^b \int_a^b l_i(t,s,\tau)m_{ij}(\tau,s,\sigma)x_j(\sigma,\tau)d\sigma d\tau$$

непрерывно дифференцируемо. Тогда оператор A_{ij} компактен в $C^{(1)}(D)$. Следовательно, оператор (6) компактен в $C_n^{(1)}(D)$.

В силу устойчивости фредгольмовости уравнений относительно компактных возмущений [5] фредгольвость уравнения (5) равносильна фредгольмовости уравнения

$$(I - L)(I - M\Pi)x = f. (7)$$

С применением теоремы Фубини показывается, что оператор $(M\Pi)^2$ допускает представление

$$((M\Pi)^2 x)(t,s) = \sum_{k=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}\int_a^b\int_a^b m_{ik}(t,s,\sigma_1)m_{kj}(\sigma_1,t,\sigma)x_j(\sigma,\sigma_1)d\sigma d\sigma_1,\ i=1,\ldots,n. \qquad (8)$$

Так как функции $m_{ik}(t,s,\sigma_1)m_{kj}(\sigma_1,t,\sigma)$ $(i,j,k=1,\ldots,n)$ непрерывно дифференцируемы, то оператор (8) компактен в пространстве $C_n^{(1)}(D)$. Следовательно [2], оператор $I-M\Pi$ фредгольмов в $C_n^{(1)}(D)$. По теореме С.М. Никольского [6] $I-M\Pi = G+Q$, где G - обратимый, а Q - компактный в $C_n^{(1)}(D)$ операторы. Тогда уравнение (7) можно записать в виде

$$(I-L)Gx+(I-L)Qx = f. \qquad (9)$$

Так как $(I-L)Q$ - компактный в $C_n^{(1)}(D)$ оператор, то отсюда следут, что фредгольмовость уравнения (9) равносильна фредгольмовости уравнения

$$(I-L)Gx = f. \qquad (10)$$

В силу обратимости оператора G фредгольмовость в $C_n^{(1)}(D)$ уравнения (10), очевидно, равносильна фредгольмовости в $C_n^{(1)}(D)$ уравнения $(I-L)x = f$.

Теорема доказана.

В условии теоремы 1 уравнение $(I-L)x = f$ "'распадается"' на уравнения

$$x_i(t,s) = \int_a^b l_i(t,s,\tau)x_i(\tau,s)d\tau + f_i(t,s), i=1,\ldots,n. \qquad (11)$$

Аналогично [7,8] доказывается, что в этом случае фредгольмовость уравнений (11) в пространстве $C_n^{(1)}(D)$ равносильна их обратимости в $C^{(1)}(D)$, которая равносильна обратимости в $C^{(1)}([a,b])$ уравнений

$$x_i(t) = \int_a^b l_i(t,s,\tau)x_i(\tau)d\tau + f_i(t), i=1,\ldots,n, s\in[a,b],\ f_i\in C([a,b]). \qquad (12)$$

Таким образом, справедлива

Теорема 2. *Пусть* $f\in C_n^{(1)}(D)$ *и пусть* l_i, m_{ij} $(i,j=1,\ldots,n)$ - *непрерывно дифференцируемые функции. Тогда фредгольмовость системы (3) в* $C_n^{(1)}(D)$ *равносильна обратимости в* $C_n^{(1)}([a,b])$ *при каждом* $s\in[a,b]$ *уравнений (12).*

Список литературы

1. *Romanovskij V.I.* Sur une classe d'equations integrales lineares// Acta Math. 1932. Vol. 59. P. 99-208.

2. *Калитвин А.С.* Интегральные уравнения типа Романовского с частными интегралами. Липецк: ЛГПУ, 2014. 196 с.

3. *Калитвин А.С., Калитвин В.А., Трусова Н.И.* Системы интегральных уравнений Романовского с частными интегралами // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Математика. Физика. № 6 (227). Вып. 42. Март 2016. С. 45-49.

4. *Appell J., Eletskikh I.A., Kalitvin A.S.* A note on the Fredholm property of partial integral equations of Romanovskij type // Journal of integral equations and applications. 2004. V. 16, N 1. P. 25-32.

5. *Крейн С.Г.* Линейные уравнения в банаховом пространстве. М.: Наука, 1971. 104 с.

6. *Канторович Л.В., Акилов Г.П.* Функциональный анализ. М.: Наука, 1984. 752 с.

7. *Kalitvin A.S.* On a Class of Integral Equations in the Space of Continuous Functions // Differential Equations, 2006. V. 42. № 9. P. 1262-1268.

8. *Калитвин А.С., Калитвин В.А.* Интегральные уравнения Вольтерра и Вольтерра-Фредгольма с частными интегралами. Липецк: ЛГПУ, 2013. 177 с.

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ (02.00.00)

02.00.01

А.Ю. Балкизова, М.Р. Тохов, С.М. Малухова, Ж.А. Кочкаров д-р хим. наук

Кабардино-Балкарский государственный университет,
Нальчик, chemest2@rambler.ru

ТРЕХКОМПОНЕНТНАЯ СИСТЕМА KCl – K_2WO_4 – $PbWO_4$

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-5-38-40

Методами физико-химического анализа, дифференциальным термическим анализом и рентгенофазовым анализом изучена фазовая диаграмма трехкомпонентной системы $KCl–K_2WO_4–PbWO_4$, выявлено и изучено триангулирующее треугольник составов сечение $K_2WO_4{\cdot}PbWO_4–PbWO_4$, определены координаты тройных эвтектик.

Ключевые слова: *Фазовые равновесия, фазовые диаграммы состояния, трехкомпонентные системы, вольфрамат свинца, сцинтилляторы, электромагнитный калориметр.*

Вольфраматы d-элементов в силу своих особых свойств нашли широкое практическое применение. Они оказались эффективными сцинтилляторами [1-3]. Электромагнитный калориметр состоит из 18 тысяч тяжелых сцинтилляционных кристаллов вольфрамата свинца для измерения энергии фотонов [4]. Вольфраматы также получил широкое применение в качестве люминесцентного материала и в производстве полупроводниковых материалов [5]. Это обусловлено тем, что монокристаллы вольфраматов имеют самую высокую плотность (8,28 г/см^3), обладают большой радиационной стойкостью [6].

Именно поэтому разработка оптимальной технологии синтеза вольфраматов и выращивания его монокристаллов в расплавах многокомпонентных взаимных систем представляют большой теоретический и практический интерес.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Фазовые равновесия (ди-, моно- и нонвариантные равновесия) трехкомпонентной системы $KCl–K_2WO_4–PbWO_4$ аппроксимировали аналитическими уравнениями второго порядка. При этом использовали лицензионную программу «Аппроксимация фазовых равновесных состояний», разработанную в среде C++ Builder 6.0.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Система KCl – K_2WO_4 – $PbWO_4$ (рис. 1) состоит из двухкомпонентных систем $KCl–K_2WO_4$ и $KCl–PbWO_4$ с простыми эвтектиками и $K_2WO_4–PbWO_4$ с конгруэнтным соединением $K_2WO_4{\cdot}PbWO_4$ (D).

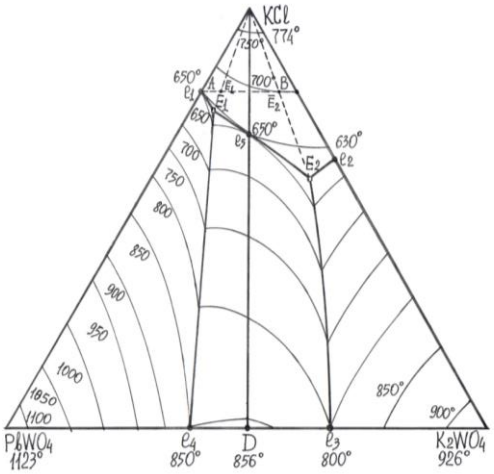


Рис. 1. Треугольник составов трехкомпонентной системы $KCl–K_2WO_4–PbWO_4$ и схема расположения политермических разрезов (пунктирные линий).

ДТА впервые изучена фазовая диаграмма двухкомпонентной системы KCl–$PbWO_4$ (рис. 1, табл.1). Система K_2WO_4–$PbWO_4$ изучена ранее, характеризуется конгруэнтным соединением K_2WO_4·$PbWO_4$ (D) с двумя эвтектиками (рис.1, табл. 1).

ДТА в системе KCl–K_2WO_4–$PbWO_4$ (рис.1) выявлено стабильное сечение D–KCl и изучена его фазовая диаграмма состояния (рис. 1, табл.1,2).

Стабильное триангулирующее сечение D–KCl разбивает фазовую диаграмму трехкомпонентной системы KCl–K_2WO_4–$PbWO_4$ (рис.1) на две подсистемы (стабильные симплексы): KCl–K_2WO_4–D и KCl–$PbWO_4$–D.

С целью экспериментального определения координат тройных эвтектик E_1 и E_2 в системе KCl–K_2WO_4–$PbWO_4$ (рис. 1) изучен политермический разрез А– В, на фазовой диаграмме состояния которого (рис.2) отражаются первичная кристаллизация KCl, моновариантные линии e_1 - E_1 (KCl+ $PbWO_4$), e_5 - E_1 (D + KCl), e_5 - E_2 (D + KCl) и e_2 - E_2 (KCl+K_2WO_4), а также две тройные эвтектики: E_1 (KCl+$PbWO_4$+D) и E_2 (KCl+K_2WO_4+D).

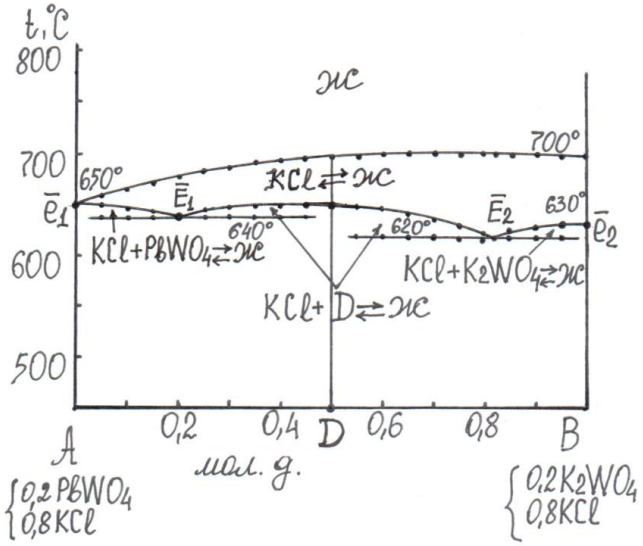


Рис. 2. Фазовая диаграмма состояния политермического разреза *A–B*.

Координаты тройных эвтектик E_1 и E_2 определяли изучением политермических разрезов KCl - $\bar{E}_1$ -E_1 и KCl -$\bar{E}_2$ -E_2 (рис.3), на фазовых диаграммах которых кривые первичной кристаллизации KCl пересекаются с эвтектическими линиями (плоскостьями) третичных кристаллизаций KCl+$PbWO_4$+D и KCl+K_2WO_4+D соответственно (рис.6, табл. 1, 2).

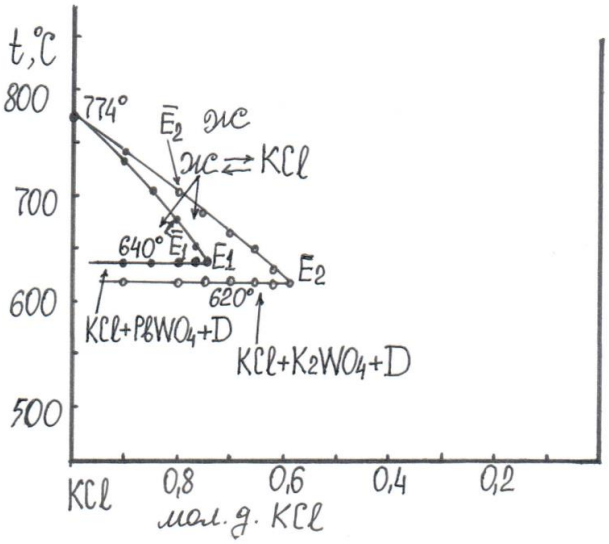


Рис. 3. Фазовые диаграммы состояния политермических разрезов $KCl– \bar{E}_1 – E_1$ и $KCl–\bar{E}_2 – E_2$.

ВЫВОДЫ

Расчетно-экспериментальным методом, методами ДТА впервые изучена трехкомпонентная система $KCl–K_2WO_4–PbWO_4$. Проведена триангуляция фазовой диаграммы системы $KCl–K_2WO_4–PbWO_4$, определены координаты двойных и тройных эвтектик, построены изотермы ликвидуса. Показано, что расчетные данные по координатам тройных эвтектик удовлетворительно согласуются с экспериментальными. Полученные данные по координатам тройных нонвариантных точек и кристаллизующимся в них фазам подтверждены РФА. Построенная ДТА фазовая диаграмма системы $KCl–K_2WO_4–PbWO_4$ может быть использована для выявления оптимальных условий синтеза вольфрамата свинца.

Таблица 1. Координаты двойных и тройных эвтектик системы $KCl– K_2WO_4–PbWO_4$

Эвтектика	Состав, мол. доли			$t_{пл}$, °C
	KCl	K_2WO_4	$PbWO_4$	
e_1	0,80	-	0,20	650
e_2	0,64	0,36	-	631
e_3	-	0,67	0,33	800
e_4	-	0,39	0,61	850
e_5	0,70	0,15	0,15	650
E_1	0,75	0,05	0,20	640
E_2	0,59	0,34	0,07	620

Таблица 2. Расчетные и экспериментальные координаты тройных эвтектик системы $KCl–K_2WO_4–PbWO_4$.

Компоненты системы	Температура, °C; состав, мол. %			ДТА
	уравнения второго порядка		линейная модель	
	$\Delta_{ij}^* = 0$	$\Delta_{ij}^* \neq 0$	плоскость	
t (E_1):	650	645	630	640
KCl	0,74	0,77	0,70	0,75
K_2WO_4	0,07	0,06	0,10	0,05
$PbWO_4$	0,19	0,17	0,20	0,20
t(E_2):	620	630	620	620
KCl	0,59	0,60	0,56	0,59
K_2WO_4	0,32	0,32	0,35	0,34
$PbWO_4$	0,09	0,08	0,09	0,07
Δ_{ij}^* - отклонение поверхности ликвидуса от плоскости по линии, соединяющей двойные эвтектики.				

Список литературы

1. *A. Borisevich, V. Dormenev, J. Houzvicka, M. Korjik, R.W. Novotny.* New Start of Lead Tungstate Crystal Production for High-Energy Physics Experiments // IEEE Transactions on Nuclear Science. – 2016. – Vol. 63. – 569-573.

2. *M. Nikl.* Wide Band Gap Scintillation Materials: Progress in the Technology and Material Understanding // Phys. Stat. Sol. A. – 2000. – Vol. 178. – 595-620.

3. *A.A. Annenkov, M.V. Korzhik, P. Lecoq.* Lead tungstate scintillation material // Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. A. – 2002. – Vol. 490. – 30-50.

4. *A. Breskin, R. Voss (Eds.).* The CERN Large Hadron Collider: Accelerator and Experiments. Vol. 1–2. CERN, Geneva. – 2009.

5. *R.W. Novotny, D. Bremer, V. Dormenev, W. Döring, T. Eißner, M. Korzhik, T. Kuske, O. Missevitch, M. Moritz*. The PANDA electromagnetic calorimeter – a high-resolution detector based on PWO-II // IEEE Transactions on Nuclear Science. – 2010. – Vol. 57, N. 3. – 1441-1446.

6. *L. Bardelli, M. Bini, P.G. Bizzeti, F.A. Danevich et al.* Pulse-shape discrimination with PbWO4 crystal scintillators // Nucl. Instr. Meth. A. – 2008. –Vol. 584. – 129-134.

02.00.04

А.В. Быков канд. хим. наук, Г.Н. Демиденко канд. хим. наук

Тверской государственный технический университет,
Тверь, BykovAV@yandex.ru

СТАБИЛИЗАЦИЯ КЛАСТЕРОВ Pd_4 И Pd_4H_2 В АРОМАТИЧЕСКИХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТРИЦАХ

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-5-41-44

В статье рассмотрены эффекты стабилизации кластеров Pd_4 и Pd_4H_2 в ароматических полимерных матрицах в рамках модели супермолекулы на уровне расчета теории функционала плотности.

Ключевые слова: *кластер, стабилизация, ароматическая полимерная матрица.*

Сверхсшитые полимерные сетки обладают развитой удельной поверхностью 500-2000 $м^2/г$ [1, 2] и, как носители, в ходе синтеза каталитических систем способны эффективно стабилизировать в своем объеме наночастицы палладия, платины и других металлов. Для понимания причин такого поведения были проведены квантово-химические расчеты адсорбции кластеров Pd_4 и Pd_4H_2 на бензольных кольцах, имитирующих участки полимерной матрицы с целью оценки эффективности стабилизации таких кластеров – предшественников наночастиц, и впервые изучена адсорбция кластеров Pd_4H_2 на ароматических кольцах.

Методы и методики

Расчет проведен методами теории функционала плотности в квантово-химическом пакете Orca 3.0.2 [3]. Расчет не был ограничен по спину, был выбран трехэкспоненциальный полноэлектронный базисный набор def2-TZVP с включенными диффузным набором и поляризационным набором для не водородных атомов [4]. Релятивистские эффекты были учтены использованием приближения ZORA [5]. В качестве обменно-корреляционного функционала был использован B3LYP.

Энергия каждой системы рассчитывалась как сумма электронной энергии и энергии нулевых колебаний. В ходе расчета адсорбции всей структуре было позволено релаксировать.

Энергия адсорбции была рассчитана как:

$$\Delta E_{Ads} = E_{ABn} - E_A - nE_B$$

$$\Delta E_{Ads} = E_{ABC} - E_A - E_B - E_{H2},$$

где E_{ABn} – это энергия всей системы в супермолекуле, E_A – энергия кластера, E_B – энергия бензола, E_{H2} – энергия образования водорода в газовой фазе.

Адсорбция водорода на кластер Pd_4

На первом этапе были рассчитаны кластеры Pd_4 (структура I) и две формы Pd_4H_2 (структура II и III) с диссоциированной молекулой водорода в синглетном, триплетном и квинтетном состояниях. Все структуры представлены на рисунке 1.

Как следует из расчетов (таблица 1) основным состоянием кластера Pd_4 является триплетное, а первое возбужденное – синглетное – расположено на 0.106 эВ выше по энергии. Среднее расстояние <Pd-Pd> составляет 2.61 Å и находится между значениями 2.55 (LDA, BLYP) [6] и 2.67 (GGA, BLYP) [7] и 2.700 [8].

Рассчитанные параметры кластера Pd_4H_2 также находятся в хорошем согласии с литературными данными. На основе полученных данных (таблица 1) и в соответствии с [7] синглетное состояние структуры II было выбрано в качестве основного состояния кластера Pd_4H_2 для дальнейших расчетов. Изменение мультиплетности основного состояния системы с триплетного на синглетное при переходе от кластера Pd_4 к структуре Pd_4H_2 объясняется

связыванием неспаренных электронов палладия электронами атомов водорода. Полученная энергия диссоциативной адсорбции H_2 с кластером палладия для основного состояния Pd_4H_2 составляет -0.777 эВ, что несколько меньше полученных в работе [7]: 1.156 эВ для структуры II, 0.906 для структуры III и сопоставима с 0.81 эВ (GGA-PW91) полученным в работе [8].

Таблица 1 – Энергии образования кластеров относительно основного состояния

Кластер	Мультиплетность	dE, eV	H_2 E_b, eV
Pd_4 (I S)	1	0.106	-
Pd_4 (I T)	3	0.000	-
Pd_4 (I Q)	5	1.232	-
Pd_4H_2 (II S)	1	0.000	-0.777
Pd_4H_2 (III S)	1	0.220	-0.557
Pd_4H_2 (III T)	3	0.519	-0.258

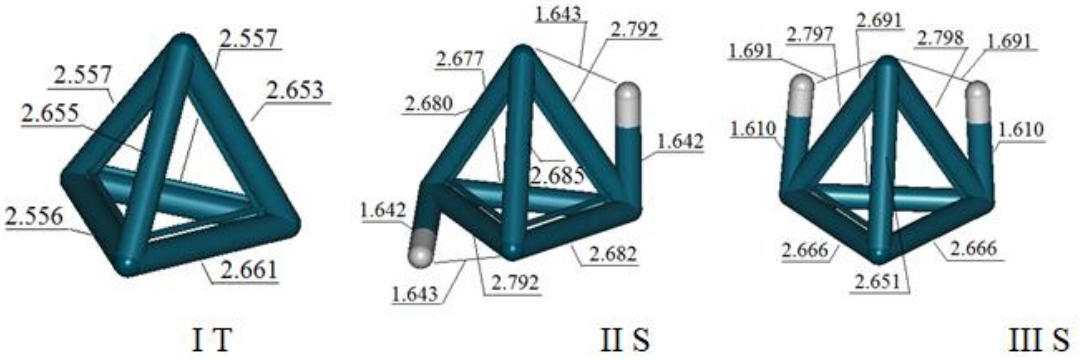


Рис. 1 – Оптимизированная геометрия кластера Pd_4 в триплетном состоянии, и кластеров Pd_4H_2 в синглетном состоянии

Адсорбция кластера Pd_4 на бензольные кольца

Вследствие наличия большого количества микро- и малых мезопор в сверхсшитых ароматических полимерах возникает статистически значимая вероятность контакта малых кластеров палладия одновременно более чем с одним бензольным кольцом полимера, обладающего достаточно подвижной, хоть и сшитой полимерной сеткой. В аппроксимации звеньев полимерной цепи в расчетах были использованы молекулы бензола и рассчитаны конфигурации адсорбционных комплексов и энергии адсорбции кластеров Pd_4 и Pd_4H_2 на бензольные кольца полимерной цепи в допущении «мягких полимерных цепей».

Расчет адсорбции Pd_4 в основном состоянии на бензольные кольца проводился в четыре этапа последовательным присоединением бензольных колец с возможностью полной релаксации структуры в процессе оптимизации.

Как следует из расчетов, при адсорбции на бензольное кольцо (A) (структура IV T) происходит искажение структуры кластера Pd_4 в основном связанное с удлинением связей <Pd-Pd> расположенных в плоскости соприкосновения с бензольным кольцом, а среднее расстояние <Pd-Pd> увеличивается на 3.8%. В адсорбционном комплексе также наблюдается деформация бензольного кольца, хорошо известная из литературных источников (структура IV). По данным расчетов, связи углерод-углерод в бензольном кольце удлиняются в среднем на 2.9%, а среднее отклонение атомов водорода от плоскости бензольного кольца составляет 14.4^0. Средняя длина связи <Pd-C> в адсорбционном комплексе составила 2.26 Å.

Рассчитанная энергия адсорбции кластера на бензольном кольце составляет 0.612 эВ (59 кДж/моль). Полученные межатомные расстояния и углы в Pd_4-C_6H_6 сопоставимы с аналогичными расстояниями и углами структур адсорбированного бензола на плоском кластере Pd_7 и Pd_{7+3} [10] и поверхности Pd{111} [11], а полученная энергия адсорбции бензола на Pd_4 0.612 эВ сопоставима с рассчитанными на уровне B3LYP/LANL2DZ и B3LYP/6-31G(d) в [10]: энергиями адсорбции бензола на Pd_7 и Pd_{7+3} 0.560 и 0.862 эВ соответственно.

Адсорбция на полученной структуре второго (B) (структура V), третьего (C) и четвёртого (D) бензольного кольца (рисунок 3) приводит к суммарным энергиям адсорбции кластера -114.0, -181.2 и -216.6 кДж/моль, соответственно. Средняя энергия адсорбции в расчете на одно бензольное кольцо при адсорбции на кластер Pd_4 составляет около -0.6 эВ и снижается при адсорбции четвертого бензольного кольца вследствие перекоординации кольца A.

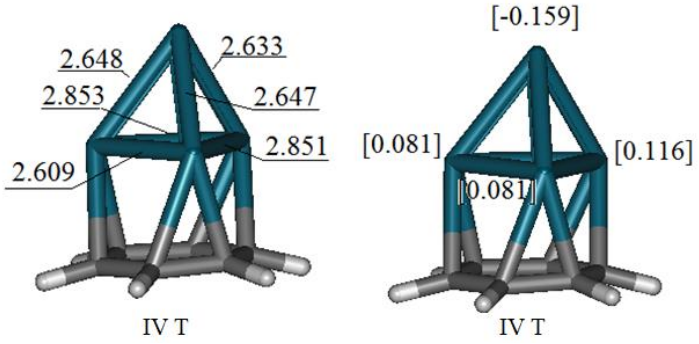


Рис. 2 – Оптимизированная структура IV. Длины связей и заряды по Маликену на кластере

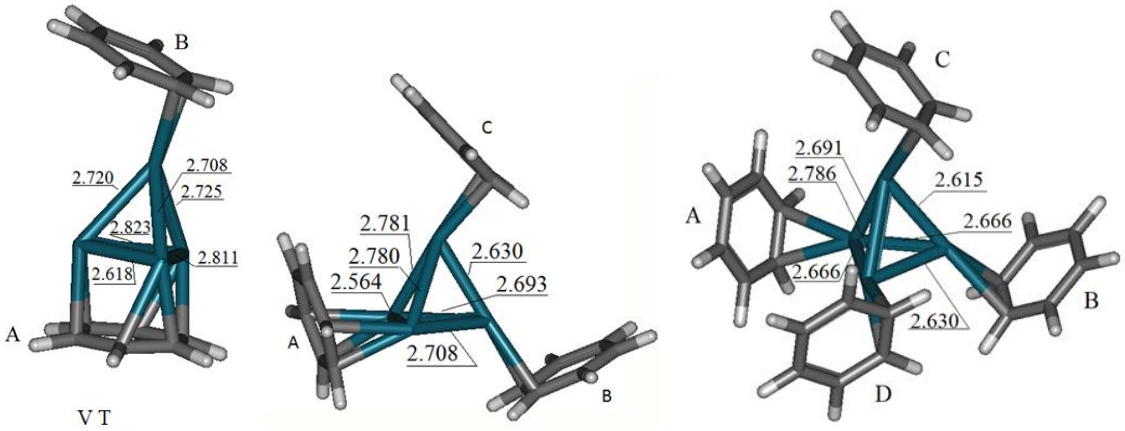


Рис. 3 – Структуры комплексов $Pd_4(C_6H_6)_2$, $Pd_4(C_6H_6)_3$, $Pd_4(C_6H_6)_4$

Адсорбция кластера $Pd4H_2$ на бензольные кольца

В ходе адсорбции кластера Pd_4H_2 на бензольное кольцо наблюдается миграция атома водорода от плоскости бензольного кольца и переход структуры кластера из II в III (рисунок 4).

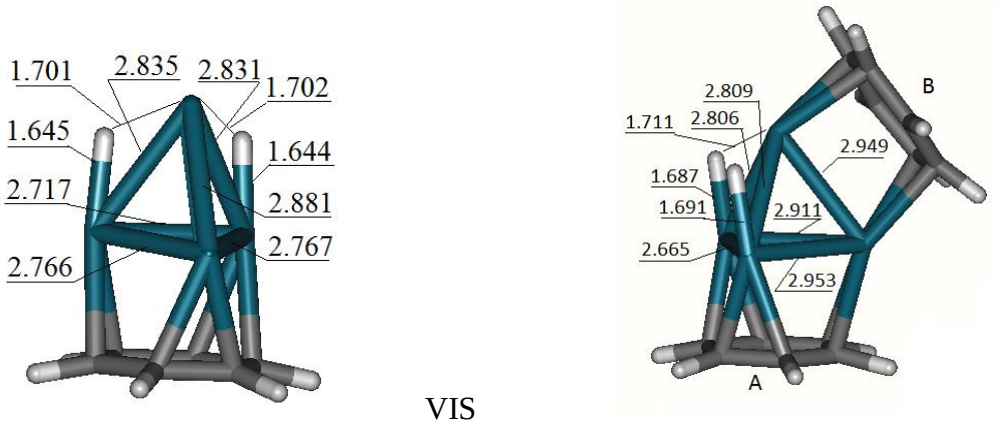


Рис. 4 – Рассчитанные структуры комплексов $Pd_4H_2C_6H_6$ и $Pd_4H_2(C_6H_6)_2$

Энергия адсорбции Pd_4H_2 на бензольное кольцо составила -1.046 эВ, что сопоставимо по энергетическому эффекту с адсорбцией кластера Pd_4 на двух бензольных кольцах.

Суммарная энергия адсорбции двух бензольных колец на кластер в Pd_4H_2 составляет -2.222 эВ (214.4 кДж/моль), что сопоставимо с адсорбцией кластера Pd_4 на четырех бензольных кольцах.

Заключение

Сопоставление энергий адсорбции кластеров Pd_4 и образующихся в ходе восстановления молекулярным водородом кластеров Pd_4H_2 на бензольные кольца позволяет утверждать, что подвижность кластеров гидрида палладия в ароматической полимерной матрице в отсутствии растворителя затруднена значительно больше, чем подвижность кластеров Pd_4, что затрудняет нуклеацию и рост крупных частиц палладия в случае использования рассеянного по полимерной матрице прекурсора металла. Очевидно, восстановление молекулярным водородом в среде ароматического растворителя, такого как толуол, или в присутствии непредельных углеводородов приводит к последовательной переадсорбции кластера с бензольных колец на молекулы растворителя и их миграции в составе такого комплекса, что облегчает рост частиц и получение более крупных частиц палладия.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (контракт 18-08-00435).

Список литературы

1. *A. V. Pastukhov, M. P. Tsyurupa, V. A. Davankov* Hypercrosslinked Polystyrene: A Polymer in a Non-Classical Physical State// J. of Polymer Science, Part B: Polymer Physics, 1999, Vol. 37, P. 2324-2333.
2. *J. Germain, J. M. J. Fre´chet, F. Svec* Hypercrosslinked polyanilines with nanoporous structure and high surface area: potential adsorbents for hydrogen storage//J. Mater. Chem., 2007, Vol. 17, P. 4989–4997.
3. *F. Neese* The ORCA program system // Wiley Interdiscip. Rev.: Comput. Mol. Sci., 2012, Vol. 2, P. 73-78.
4. *D. A. Pantazis, X. Y. Chen, C. R. Landis, F. Neese* // J. Chem. Theory Comput. 2008, Vol. 4, P. 908.
5. *C. van Wuellen* // J. Chem. Phys. 1998, Vol 109, P. 392-399.
6. *Bulumoni Kalita, Ramesh Ch. Deka* Density Functional Studies on Structure and Reactivity of Pdn Clusters for n=1–13 // Bulletin of the Catalysis Society of India, 2006, Vol. 5, P. 110-120.
7. *M. Ni, Z. Zeng* // Journal of Molecular Structure: THEOCHEM 2009, Vol. 910, P. 14–19.
8. *J. Rogan, G. Garcia, M. Ramirez, V. Muñoz, J. A. Valdivia, X. Andrade, R. Ramirez, M. Kiwi* The structure and properties of small Pd clusters // Nanotechnology 2008, Vol. 19, P. 205701.
9. *X. Liu, D. Tian, C. Meng* DFT study on the adsorption and dissociation of H_2 on Pdn (n = 4, 6, 13, 19, 55) clusters // Journal of Molecular Structure, 2015, Vol. 1080, P. 105–110.
10. *M. T. de M. Cruz, J. W. de M. Carneiro, D. A. G. Aranda, M. Bühl* Density Functional Theory Study of Benzene Adsorption on Small Pd and Pt Clusters // J. Phys. Chem. C 2007, Vol. 111, P. 11068-11076.
11. *W. Liu, V. G. Ruiz, G.-X. Zhang, B. Santra, X. Ren, M. Scheffler, A. Tkatchenko* Structure and energetics of benzene adsorbed on transition-metal surfaces: Density-functional theory with van der Waals interactions including collective substrate response // New Journal of Physics, 2013, Vol. 15 , P. 053046

02.00.01

Х.Б. Кушхов д-р хим. наук, В.В. Хасанов канд. хим. наук, Е.Р. Губжокова, Р.М. Кушхова, Р.А. Мукожева канд. хим. наук, М.Р. Тленкопачев канд. хим. наук

Кабардино-Балкарский государственный университет имени Х.М. Бербекова,
Институт Химии и Биологии, кафедра неорганической и физической химии,
Нальчик, egubzhokova@gmail.com

СИНТЕЗ МОЛИБДАТА И ВОЛЬФРАМАТА САМАРИЯ ИЗ ГАЛОГЕНИДНО-ОКСИДНЫХ РАСПЛАВОВ

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-5-45-47

Методом ионного обмена в галогенидно-оксидном расплаве синтезированы молибдат и вольфрамат самария. Изучены структура, фазовый и элементный состав продуктов синтеза.

Ключевые слова: *хлорид самария, лантаноиды, ионный обмен, синтез.*

Введение

Молибдаты и вольфраматы редкоземельных элементов (РЗМ = Sm, Ce, Pr, Eu, Tb, Tm), кристаллизующимися по типу шеелита $CaWO_4$ и пальмиерита $K_2Pb(SO_4)_2$, широко используемые в качестве люминофоров для светодиодов белого свечения (White Light-Emitting Diodes, WLED), широко востребованных на мировом рынке [3-5]. Эти светодиоды обладают существенными преимуществами по сравнению с обычными лампами накаливания и компактными люминесцентными лампами: они более долговечны, нехрупкие, потребляют меньше мощности, намного более экономичны и экологичны (не содержат токсических веществ и реже требуют утилизации) [1-2].

Цель исследования состояла в разработке способа синтеза молибдата и вольфрамата самария в галогенидно – оксидных расплавах.

Экспериментальная часть

Для исследования расплавов, содержащих ионы самария, необходимо осуществить условия, гарантирующие отсутствие кислорода и влаги в используемых солях и атмосфере экспериментальной кварцевой ячейки.

Ионы самария вводились в расплав в виде безводного трихлорида самария (99.9%, ультра сухой). Использованные соли были осушены и хранились в перчаточном боксе mBraun Labstar 50.

Методика приготовления солей заключалась в следующем. Хлориды натрия и калия квалификации «ХЧ» подвергали перекристаллизации, прокаливали в муфельной печи, смешивали в необходимом соотношении (эквимолярная смесь) и помещали в алундовый стакан. Ячейку со стаканом вакуумировали до остаточного давления 0.7 Па сначала при комнатной температуре, а затем при постепенном ступенчатом нагревании до 473, 673, 873 К. После этого ее заполняли инертным газом (аргоном) и расплавляли электролит.

Процесс отмывки продукта синтеза играет важную роль, так как остатки фонового электролита растворяются только при многократном кипячении в дистиллированной воде с последующей декантацией. После декантации осадок центрифугировали и высушивали. Для расчета массовой доли молибдата и вольфрамата самария в полученном образце взвешивали массу продукта синтеза до и после отмывки.

Рентгенофазовый анализ образцов синтезированных соединений проводили на рентгеновском дифрактометре D2 Phaser («Bruker», Германия). С помощью растрового электронного микроскопа SEM VEGA 3LMH («Tescan», Чехия), снабжённого системой для рентгеноспектрального микроанализа («X-Max», Oxford Instruments), изучалась микроструктура поверхности образцов продукта синтеза, а также проводился качественный и количественный элементный анализ продукта.

Результаты исследования

При проведении синтеза вольфрамата (молибдата) самария из хлоридных расплавов в качестве растворителей использовали эквимолярную смесь NaCl–KCl. Вольфрамат (молибдат)-анионы добавлялись в расплав в виде безводного вольфрамата (молибдата) натрия.

Навеску солевого электролита, содержащего хлорид РЗМ (~ $1{,}0 \cdot 10^{-4}$ моль/см^3), помещали в алундовый тигель, в который прибавляли рассчитанное количество соли-растворителя и необходимое количество молибдата (вольфрамата) щелочного металла. Тигель помещали в герметично закрывающуюся кварцевую ячейку, которую вакуумировали, заполняли аргоном и опускали в предварительно разогретую до требуемой температуры печь. После выдержки в печи в течение требуемого времени ячейку извлекали, вскрывали и тигель быстро переносили в эксикатор для охлаждения.

Соотношение компонентов синтеза (молибдата и вольфрамата натрия и хлорида самария) подбиралось в соответствии с уравнением реакции:

$$2SmCl_3 + 3Na_2MoO_4 \rightarrow Sm_2(MoO_4)_3 + 6NaCl$$

$$2SmCl_3 + 3Na_2WO_4 \rightarrow Sm_2(WO_4)_3 + 6NaCl$$

На рис. 1-3 представлены микрофотография, цветовая элементная карта, спектрограмма и индивидуальные цветовые элементные карты поверхности синтезированного порошка. На микрофотографическом снимке (рис. 1) поверхности образца продукта синтеза отмечается слоисто-пластинчатая структура. Рис. 3, показывающий локализацию элементов на поверхности исследуемого образца, подтверждает образование вольфраматной фазы самария.

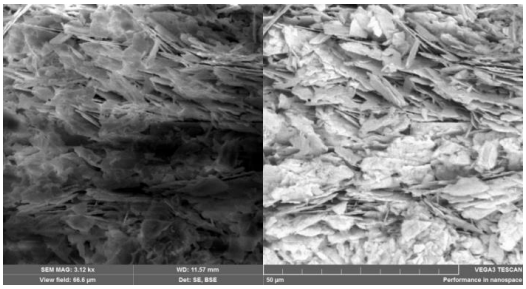
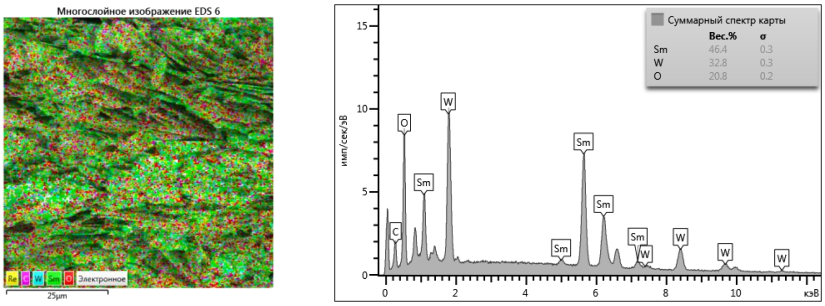


Рис. 1. Микрофотография поверхности образца вольфрамата самария, полученная на СЭМ Vega 3LMH TESCAN с системой для рентгеноспектрального микроанализа.



(а) *(б)*

Рис. 2. Цветовая элементная карта (а) и спектрограмма (б) поверхности образца вольфрамата самария, полученная на СЭМ Vega 3LMH TESCAN с системой для рентгеноспектрального микроанализа

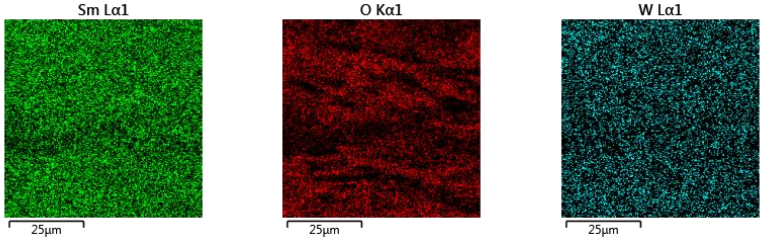


Рис. 3 Индивидуальные цветовые элементные карты поверхности образца вольфрамата самария, полученные на СЭМ Vega 3LMH TESCAN с системой для рентгеноспектрального микроанализа.

Результаты фазового состава продуктов синтеза приведен в виде дифрактограммы на рис.4

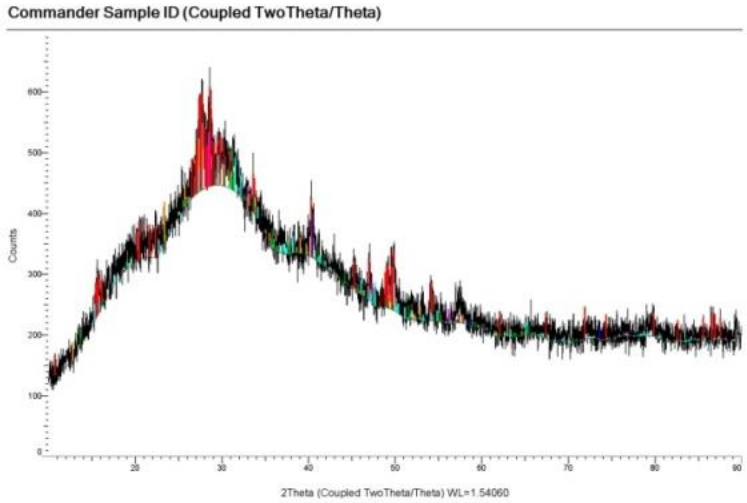


Рис. 4. Дифрактограмма продуктов синтеза в системе NaCl-KCl-$SmCl_3$- Na_2MoO_4 при соотношениях концентраций C($SmCl_3$): C(Na_2MoO_4)-2:1.

Нами изучена зависимость состава продукта от таких параметров синтеза, как соотношение молярных концентраций компонентов и продолжительность синтеза.

Табл.1. Зависимость состава продукта синтеза в системе NaCl-KCl-Na_2MoO_4-$SmCl_3$ от молярного соотношения компонентов расплава (время синтеза– 30 мин)

C($SmCl_3$), масс.%	**C(Na_2MoO_4), масс.%**	**Концентрация C($SmCl_3$): C(Na_2MoO_4)**	**Состав продукта синтеза**
0.51	0.41	1:1	$SmMo_5O_8$ $SmMo_8O_{14}$
1.02	0.41	2:1	Sm_3MoO_7 $SmMo_8O_{14}$

Выводы

Проведён синтез молибдатов и вольфраматов самария методом реакции ионного обмена в галогенидно – оксидных расплавах. Изучена зависимость состава продукта синтеза от молярного соотношения компонентов расплава, продолжительности синтеза. Установлен химический (фазовый и элементный) состав, а также изучена микроструктура поверхности образца продуктов синтеза $Sm_2(MoO_4)_3$ и $Sm_2(WO_4)_3$.

Список литературы

1. *Мохосоев, М.В., Алексеев, Ф.П., Бутуханов, В.Л.* Двойные молибдаты и вольфраматы. / Отв. Ред. К.А. Никифоров. – Новосибирск.: Наука, 1981. – 137 с.
2. *Мохосоев, М.В., Базарова, Ж.Г.* Сложные оксиды молибдена и вольфрама с элементами I-IV групп. / Отв. ред. Ф.П.Алексеев. – М.: Наука, 1990. – 256 с.
3. *Трунов В.К.* Кристаллохимия и свойства двойных молибдатов и вольфраматов / В.К. Трунов, В.А. Ефремов, Ю.А. Великодный – Ленинград: Наука, 1986.
4. *Cavalli E.* Spectroscopy and excited states dynamics of Tb3+-doped KLa(MoO4)2 crystals / E. Cavalli, P. Boutinaud, T. Cucchietti, M. Bettinelli // Opt. Mater. (Amst). – 2009. – Т. 31 – № 3 – 470–473с.
5. *Zolotova E.S.* Na2MoO4-CaMoO4-Ce2/3MoO4 scheelite-like solid solutions / E.S. Zolotova, L.N. Trushnikova, B.M. Ayupov, V.V. Sokolov, V.A. Daletskii // Inorg. Mater. – 2009. – Т. 45 – № 4 – 432–435с.

02.00.15

Н.В. Лакина[1] канд. хим. наук, А.И. Головко[1], В.Ю. Долуда[1] канд. хим. наук, В.Г. Матвеева[1], Г.Ю. Рабинович [2] д-р биол. наук

[1]Тверской государственный технический университет,
кафедра биотехнологии и химии,
[2]ФГБНУ Всероссийского НИИ милиорированных земель,
Тверь, lakina@yandex.ru

ВЛИЯНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА СОВМЕСТНЫЙ РОСТ МИКРООРГАНИЗМОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ БИОТОПЛИВА

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-5-48-50

В настоящей работе приведены данные по варьированию условий получения целлюлозолитических и метанообразующих микроорганизмов способных трансформировать лигноцеллюлозное сырье в биотопливо. В качестве лигноцеллюлозного сырья был эффективно применен торф верхового типа. Изучено влияние таких важных факторов, как окислительно-восстановительный потенциал и pH питательной среды для совместного культивирования целлюлозолитических ферментов.

Ключевые слова: *целлюлозолитические и метанообразующие микроорганизмы, торф, биотрансформация, D-глюкоза, биотопливо.*

На современном этапе развития химической технологии получения биотоплива все большая роль отводится биотехнологическим способам, отличающиеся эффективностью и экологичностью.

При разработке режимов культивирования продуцентов ферментативных комплексов, гидролизующих лигноцеллюлозное сырье до исходного продукта биотоплива D-глюкозы, особое внимание уделяется изучению окислительно-восстановительного потенциала и pH питательной среды микроорганизмов.

В работе [1] авторы изучали применение анаэробных микроорганизмов, способных развиваться в широком диапазоне rH_2 (0-22), но эффективно размножаются только при низких (до 3-5) значениях его. Значения rH_2 можно регулировать, вводя в среду тиогликолят натрия, аскорбиновую кислоту и цистеин.

Наиболее сильно окислительно-восстановительный потенцмал (Eh) среды снижается при внесении тиогликолята натрия; более мягким эффектом обладает аскорбиновая кислота. Наиболее благоприятна для развития целлюлозотрофных микроорганизмов зона rH_2 3-10, создаваемая тиогликолятом натрия. В этом случае уже через 12 ч после посева наблюдается большое количество вегетативных клеток, развитие проходит интенсивно, синхронно [1].

Органические среды со свекловичным жомом содержат большое количество редуцирующих веществ, в связи с чем rH_2 их довольно низкий.

В оптимальных для развития и размножения условиях (rH_2=3) уже к 24-36 ч роста наблюдается максимум накопления ферментов.

Таким образом, для нормального развития и жизнедеятельности этого анаэробного штамма индекс аэробности среды перед засевом не должен превышать 3-5. В противном случае рост микроорганизма и биосинтез ферментов тормозятся, либо протекают крайне медленно [2].

От концентрации ионов водорода зависит поступление веществ в клетку, она воздействует на образование и активность ферментов, которые обусловливают рост и размножение клеток продуцентов [3]. Накопление ферментов в культуральной жидкости также в значительной

степени зависит от величины pH исходной питательной среды. Так, исходные величины pH среды 7.5-9.0 приводят к угнетению роста Pen.virrucol. и замедлению биосинтеза целлюлозолитических ферментов. Снижение pH исходной питательной среды до 6.0 и менее также неблагоприятно влияет на биосинтез целлюлозолитических ферментов. Для нормального роста культуры и биосинтеза амилазы и протеазы необходимо исходное значение pH питательной среды доводить до 6.9.

В процессе культивирования микроорганизмов pH изменяется от 6.9 до 5.5-6.6. Поэтому величина pH может служить одним из параметров, по которому следует судить о ходе процесса. Достижение значения pH в процессе культивирования 5.5-5.6 свидетельствует об окончании ферментации [3,4].

В исследовательской работе [4] показано, что для культуры *Trichoderma reesei* исходные величины pH среды 8-9 весьма неблагоприятны - сильно угнетается рост микроорганизма и резко снижается биосинтез ферментов. Такая же картина наблюдается и при pH среды 6.0-5.5. На средах с низким значением pH особенно снижается биосинтез ксиланазы. Максимальное накопление ферментов наблюдается при культивировании *Trichoderma reesei* на средах с исходным pH 6.2-6.5.

Диапазон pH, при котором могут развиваться термофильные бактерии рода *Clostridium*, довольно широк. Эти микроорганизмы жизнедеятельны в пределах pH 4.7-8.5.

Авторы работы [5] исследовали интервал оптимальной pH среды для *Clostridium spp.* Показано, что микроорганизмы активно развиваются в зоне pH 6.8 – 7.2; при значениях pH 4.5 и 8.5 рост практически прекращается.

Оптимальной зоной pH для биосинтеза экзоцеллюлазы является 4.5.-5.5, для биосинтеза эндоцеллюлазы 4.0-5.0, а для биосинтеза ксиланазы оптимальны более низкие значения pH среды – до 3.5–4.0. Наиболее интенсивно процесс протекает на средах, содержащих мел, но выявленные зависимости между величиной pH и биосинтезом ферментов не нарушаются. Таким образом, биосинтез ферментов наиболее продуктивен в зоне pH 4.0-6.0 [2,5].

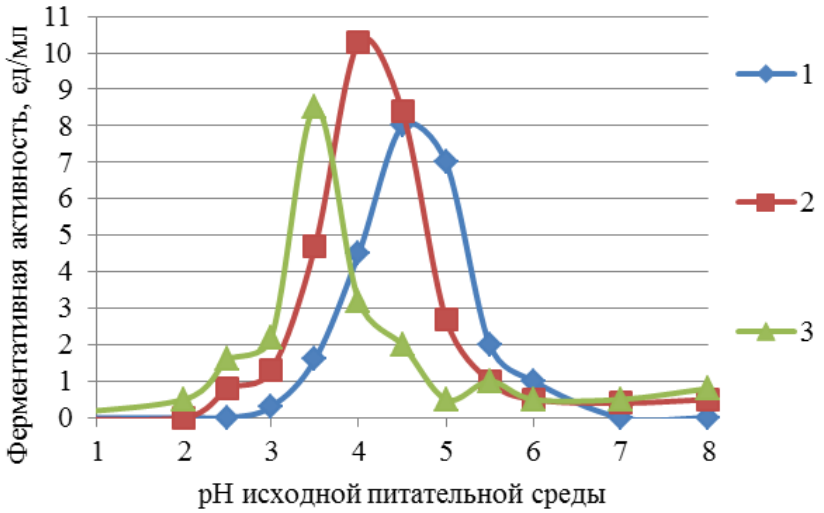


Рис 1. Влияние величины pH питательной среды на биосинтез ферментов *Trich.viride* (длительность процесса 60 ч): 1 – экзоцеллюлазы; 2 - эндоцеллюлазы; 3 -ксиланазы.

Как видно из рис. 1, можно получать культуральные жидкости с различным соотношением ферментов путем изменения величины pH среды.

Величина pH питательной среды, в пределах которой в процессе глубинного культивирования гриба *Trich.viride* накапливается достаточное количество фермента 1, находится в пределах 3.25-4.5. Оптимальная величина pH, при которой продуцируется максимальное количество фермента 1. равняется 3.5. Значения pH питательной среды, при которых образуется достаточное количество фермента 3, находятся в пределах 3.5-5.5 с оптимумом 4.5.

При начальном pH питательной среды 2.0-2.5 или 7.0-8.0 в ферментативном комплексе культуральной жикости фермент 3 отсутствует. Фермент 2 синтезируется при выращивании *Trich.viride* на питательной среде с исходным значением pH в интервале 2.0-8.0, достигая максимума при pH 3.75.

Кислотоустойчивая целлобиаза и β-глюконаза продуцируются грибом *Trich.viride* на среде с тем же значением pH, достигая максимума при pH 4.5.

Выводы

Обзор зарубежных и отечественных исследовательских работ указывает на актуальность варьирования окислительно-восстановительного потенциала и pH питательной среды для получения микроорганизмов, биотрансформирующих лигноцеллюлозное сырье в биотопливо.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №16-08-00158.

Список литературы

1 *Fillat Úrsula* Laccases as a Potential Tool for the Efficient Conversion of Lignocellulosic Biomass: A Review [Текст]/ Úrsula Fillat, David Ibarra, María E. Eugenio, Antonio D. Moreno, Elia Tomás-Pejó and Raquel Martín-Sampedro – Fermentation – 3, 2017,

2 *Мороз И.В* Влияние компонентов питательной среды на образование целлюлазы Trichoderma viride [Текст]/ И.В. Мороз, Р.В. Михайлова, А.Г. Лобанок, Ю.М. Капустина – IX Международная научная конференция «Микробные биотехнологии: фундаментальные и прикладные аспекты», Институт микробиологии НАН Беларуси - Минск, 7-11 сентября 2015.

3 *Lee R* Microbial Cellulose Utilization: Fundamentals and Biotechnology [Текст]/ Lee R. Lynd,1 Paul J. Weimer, Willem H. van Zyl, Isak S. Pretorius MICROBIOLOGY AND MOLECULAR BIOLOGY REVIEWS, Sept. 2002 – Vol. 66, No. 3, p. 506–577

4 *Лыков, И. Н.* Биодеградация целлюлозосодержащих отходов для получения технических продуктов [Текст]/ И. Н. Лыков, Г. А. Шестакова, С. А. Назаров. — Калуга: Калужский госуниверситет им. К. Э. Циолковского.

5 *Ruiz, E.* Evaluation of steam explosion pretreatment for enzymatic hydrolysis of sunflower stalks [Текст]/ E. Ruiz, C. Cara, P. Manzanares etc. – Enzyme Microb. Tech. - 2008, №2. - С.160-166.

02.00.13

Н.В. Лебедева канд. хим. наук, Г.Н. Кошель д-р хим. наук,

ФГБОУ ВО Ярославский государственный технический университет,
кафедра общей и физической химии,
Ярославль, lebedevanv@ystu.ru

СИНТЕЗ *о*-ДИКАРБОНОВЫХ КИСЛОТ БИФЕНИЛА НА ОСНОВЕ *о*-КСИЛОЛА И ЦИКЛОГЕКСАНОЛА

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-5-51-54

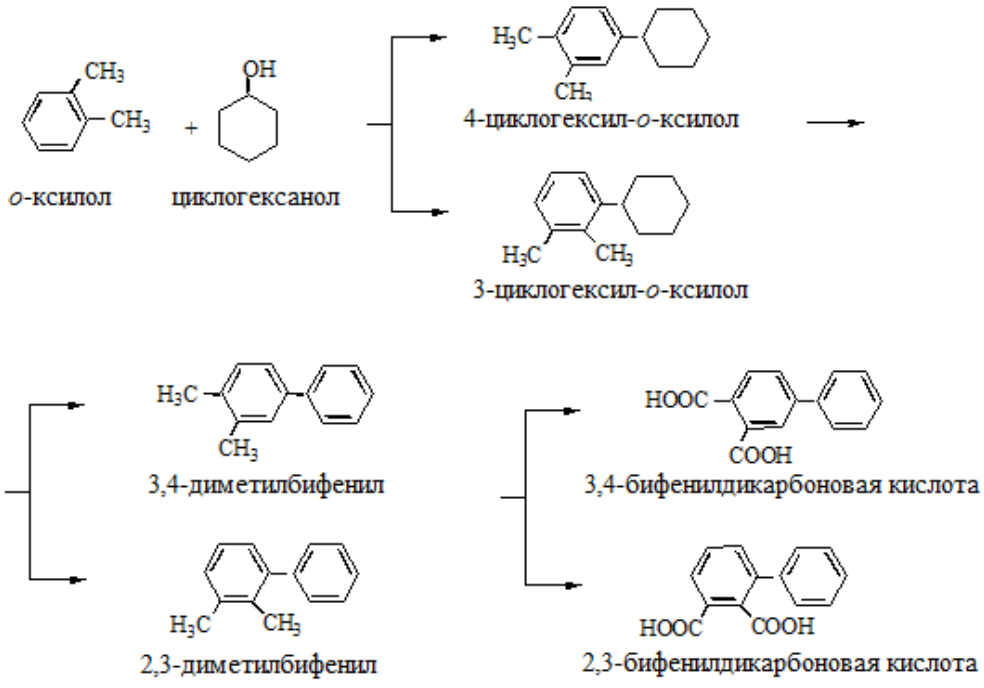
Разработан метод получения 3,4- и 2,3-бифенилдикарбоновых кислот. Изучено влияние различных факторов на отдельных стадиях синтеза, найдены условия, обеспечивающие эффективное протекание процесса, идентифицированы промежуточные и конечные продукты реакций.

Ключевые слова: *о-ксилол, циклогексанол, алкилирование, дегидрирование, жидкофазное каталитическое окисление.*

Дикарбоновые кислоты бифенила являются перспективными мономерами для получения композиционных материалов, жидкокристаллических термостойких полимеров [1], фталоцианинов, которые в настоящее время используются не только как зеленые и синие красители [2], но и в качестве катализаторов [3], фотопроводящих материалы [4], компонент химических сенсоров [5]. Однако дикарбоновые кислоты бифенила ни у нас в стране, ни за рубежом не производятся, а известные методы их синтеза [1] характеризуются недоступностью сырья, многостадийностью, низкими выходами целевых продуктов. В связи с этим, поиск и разработка эффективных способов их получения является актуальной задачей.

Нами предложен метод получения *о*-дикарбоновых кислот бифенила, представляющие практический интерес для синтеза арилированных фталоцианинов, основанный на использовании *о*-ксилола и циклогексанола [6]:

Он включает следующие стадии: 1) алкилирование *о*-ксилола циклогексанолом в присутствии серной кислоты; 2) синтез диметилбифенилов дегидрированием смеси 3 (4)-циклогексил-*о*-ксилолов; 3) жидкофазное окисление 3,4- и 2,3-диметилбифенилов в о-бифенил- дикарбоновые кислоты.



Экспериментальная часть

При проведении **реакции алкилирования** к смеси *о*-ксилола и серной кислоты при температуре 5-8 °С в течение 1 ч прибавляли циклогексанол. Реакционная смесь выдерживали при этой температуре в течение 2 ч. Затем углеводородный слой отделяли, промывали водой до pH 7, сушили хлористым кальцием. Ректификацией в вакууме удаляли избыточный *о*-ксилол, затем выделяли смесь изомеров 3 (4)-циклогексил-*о*-ксилола с $T_{кип}$ 131-140 °С (9-10 мм рт. ст.).

Реакцию дегидрирования осуществляли при температуре 240-320 °С в присутствии гетерогенных катализаторов в течение 5-6 ч. По окончании процесса реакционную смесь отфильтровали от катализатора, перегнали в вакууме и получили 3,4-диметилбифенил (3,4-ДМБФ) в виде бесцветного кристаллического вещества с $T_{пл}$ 25,5-26 °С, $T_{кип}$ 152 °С (10 мм рт. ст.) и 2,3-диметилбифенил (2,3-ДМБФ) в виде бесцветного кристаллического вещества с $T_{пл}$ 39-40 °С, $T_{кип}$ 144 °С (18 мм рт. ст.).

Реакцию окисления 3,4-ДМБФ проводили при атмосферном давлении в замкнутой системе [6]. За ходом реакции следили по количеству поглощенного кислорода. Продолжительность реакции 1-3 ч. По окончании реакции смесь охлаждали, образовавшийся осадок 3,4-бифенилдикарбоновой кислоты (3,4-БФДКК) отфильтровывали, промывали водой, сушили. 3,4-БФДКК − бесцветное кристаллическое вещество с $T_{пл}$ 199-200 °С. Кислотное число 469, выч. 463. Найдено: С 69,33; Н 4,19. $C_{14}H_{10}O_4$. Вычислено: С 69,42, Н 4,13.

Реакцию окисления 2,3-ДМБФ проводили в среде пиридина перманганатом калия при температуре кипения в течение 2 ч. Затем реакционную смесь охлаждали, отфильтровывали. Фильтрат подкисляли концентрированной соляной кислотой до pH 2. Образовавшийся осадок 2,3-бифенилдикарбоновой кислоты (2,3-БФДКК) отфильтровывали, промывали водой, сушили. 2,3-БФДКК − бесцветное кристаллическое вещество с $T_{пл}$ 145-147 °С. Кислотное число 466, выч. 463. Найдено: С 69,21; Н 4,16. $C_{14}H_{10}O_4$. Вычислено: С 69,42, Н 4,13.

ГЖХ анализ проводили на хроматографе ЛХМ-8 МД с пламенноионизационным детектором, колонка стальная 1000×3 мм, заполнена 4,8 % лукопрена Г-1000 (метилвинилсиликон) на носителе Chromosorb G, AW. Газ-носитель − азот, расход 30 мл/мин.

Результаты и обсуждение

Как видно из схемы, предлагаемый нами метод позволяет получать одновременно две *о*-бифенилдикарбоновых кислоты. При изучении I стадии синтеза было установлено, что в присутствии пиро- или орто-фосфорной кислот реакция протекает на 5-10 %. В присутствии серной кислоты выход циклогексил-*о*-ксилолов составляет 75-90 % на взятый циклогексанол. Изменение молярного соотношения реагентов в сторону увеличения доли циклогексанола ведет к образованию дициклогексильных производных. Уменьшение доли серной кислоты резко снижает выход продуктов, в то же время увеличение доли серной кислоты, повышение температуры и времени проведения процесса способствует протеканию процессов сульфирования.

Таким образом, выбраны следующие условия проведения процесса: температура 5-8°С, молярное соотношение *о*-ксилол: циклогексанол: серная кислота 3:1:3, время реакции 3 часа.

При алкилировании *о*-ксилола образуется смесь изомеров: 3- и 4-циклогексил-*о*-ксилолов в соотношении 1 : 3,5-5. Суммарный выход их составляет 85-88 % на загруженный циклогексанол. Поскольку разделить ректификацией изомерные циклогексил-*о*-ксилолы не представляется возможным на стадию жидкофазного каталитического дегидрирования направлялась смесь 3- и 4-циклогексил-*о*-ксилолов (3- и 4-ЦГ-*о*-К). Основными продуктами реакции являются соответствующие производные бифенила: 3,4- и 2,3-диметил бифенилы. Среди побочных продуктов установлены циклогексилтолуол и циклогексилбензол (легкие углеводороды).

Были исследованы два типа промышленных катализаторов: палладиевые (КПГ, МА-15) и платиновые (АП-56, АП-64) катализаторы на носителях (таблица 1). Установлено, что катализаторы платиновые и палладиевый − КПГ − обеспечивают 98-99% конверсию исходных углеводородов при высокой селективности по целевым продуктам.

При изучении влияния массовой доли катализатора КПГ было показано, что уменьшение ее ниже 50 % приводит к значительному ухудшению количественных показателей процесса. При изучении влияния температуры было установлено, что 98 % конверсия углеводородов за 6 часов достигается лишь при температуре кипения реакционной смеси.

Соотношение изомеров 2,3- и 3,4-ДМБФ в продуктах реакции соответствует соотношению 3- и 4-ЦГ-*о*-К в продуктах алкилирования.

Таблица 1 − Влияние природы катализатора и температуры на процесс дегидрирования циклогексил-о-ксилолов

Время реакции 6 ч, массовая доля катализатора 50 %.

Катализатор	Температура, °С	Конверсия циклогексил-о-ксилолов, %	Селективность реакции, моль %		
			3,4-ДМБФ	2,3-ДМБФ	легкие углеводороды
КПГ	280	97,5	76,4	21,8	1,8
АП-56	280	98,1	69,3	29,9	1,8
АП-64	280	99,6	73,9	25,8	1,3
МА-15	280	23,2	71,4	21,3	7,3
КПГ	240	82,5	62,4	22,4	15,2
КПГ	260	82,7	77,3	18,7	4,0
КПГ	280	94,8	74,2	22, I	3,7
КПГ	300	98,0	73,9	24,7	1,5
АП-56	240	13,9	44,1	15,6	40,4
АП-56	280	91,3	56,6	27,6	15,8
АП-56	300	97,6	76,5	20,9	2,7

Окислению подвергались индивидуальные 2,3- и 3,4-ДМБФ степень чистоты которых составила 99,5%.

Окисление 3,4-диметилбифенила проводилось при атмосферном давлении в присутствии смешанных металлбромидных катализаторов в среде уксусной кислоты. Было доказано, что окисление 3,4-ДМБФ протекает ступенчато, через промежуточное образование монокарбоновой (3-метилбифенил-4-карбоновой) до 3,4-бифенилдикарбоновой кислоты (3,4-БФДКК). Были проведены серии опытов по изучению влияния температуры, начальных молярных концентраций углеводорода, компонентов катализатора (таблица 2).

Показано, что 3,4-диметилбифенил легко окисляется в 3,4-БФДКК с выходом, близким к 100%, при молярном соотношении углеводород: катализатор 3-6 : 1 и ацетат кобальта : бромид натрия 1-7:1. При малом содержании бромистого натрия в системе конечный продукт содержит больше монокарбоновой кислоты и примесей. Наилучшей температурой реакции является температура 95-100 °С.

Таблица 2 − Влияние состава катализатора и его количества на выход 3,4-бифенилдикарбоновой кислоты. Температура реакции 95 °С

Молярное соотношение		Выход, %	
углеводород: катализатор	ацетат кобальта: бромид натрия	дикарбоновая кислота	монокарбоновая кислота
0,81	11,00	82,00	–
1,39	6,00	74,79	–
2,50	1,67	91,07	–
3,33	5,00	99,90	–
3,64	10,00	72,57	14,52
3,70	7,07	100,00	–
3,83	22,50	57,60	42,40
3,92	50,00	31,02	61,26
3,94	64,29	18,47	75,96
3,96	90,00	14,03	72,19
5,28	6,62	97,33	0,17
12,19	6,53	76,26	5,66
16,67	5,00	30,05	67,94

На основе 3,4-БФДКК получен зеленый пигмент близкий по цветовому тону лаку основному зеленому и превосходящий его по устойчивости к различным воздействиям (химическим реагентам, растворителям, свету).

Окислить 2,3-ДМБФ в указанной каталитической системе до 2,3-БФДКК не представляется возможным, поэтому для ее получения в качестве окислителя использовали перманганат калия. По оценкам специалистов 2,3-БФДКК представляет практический интерес в синтезе арилированных фталоцианинов.

Список литературы

1. A commercially viable route to polymerization grade phenylterephalic acid / Koshel G.N., Koshel S.G., Rudkovsky E.K., Poli G., Vitolo S., Magagnini P. // Chimica Industria. - 1998. - Vol. 80, № 2. - P. 183-189.

2. *Шапошников Г.П., Кулинич В.П., Майзлиш В.Е.* Модифицированные фталоцианины и их структурные аналоги / под ред. О.И. Койфмана. – М.: Красанд, 2012. – 480 с.

2. Фталоцианин кобальта – эффективный катализатор получения водорода из муравьиной кислоты / Кудрик Е.В., Макаров С.В., Агеева Е.С., Деревеньков И.А. // Ж. Макрогетероциклы. - 2009. - Том. 2. - С. 69-70.

3. Preparation and photoconductivity of Fe-phthalocyanine. Derivation and composite films / Chen J., Zhang J., Shen Y., Liu X., Yang L. // J. Shanghai University.-2001.-Vol. 5, №2.-P. 156-159.

4. Recent studies chemical sensors based on phthalocyanines / Ozturlc, Z.Z., Kilin N., Atilla D., Gurek A.G., Ahsen V. // J. Porphyrins and Phthalocyanines. 2009.-Vol. 13.-№ 11.-P. 1179-1187.

5 Printed flexible memory devices using copper phthalocyanine / Liana K., R. Lia, H. Wanga, J. Zhangb, D. Gamotab // J. Materials Science and Engineering.-2010.-Vol. 167. -№ l.-P. 12-16.

6. *Лебедева Н.В.* Синтез бифенилдикарбонавых кислот на основе ксилолов и циклогексанола: дис. канд. хим. наук.- Ярославль, 1998.

02.00.15

Н.А. Немыгина[1*], Л.Ж. Никошвили[2] канд. хим. наук, А.В. Быков[2] канд. хим. наук., Э.М. Сульман[2] д-р. хим. наук, L. Kiwi-Minsker[1,3] канд. хим. наук

[1] Тверской государственный университет, Региональный технологический центр, Тверь, *n.nemygina@gmail.com
[2] Тверской государственный технический университет, химико-технологический факультет, кафедра биотехнологии и химии, Тверь
[3] Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, GGRC-ISIC-EPFL, CH-1015, Лозанна, Швейцария

МНОГООБРАЗИЕ ФОРМ ПАЛЛАДИЯ, СТАБИЛИЗИРОВАННЫХ СВЕРХСШИТЫМ ПОЛИСТИРОЛОМ, И ИХ ВЛИЯНИЕ НА АКТИВНОСТЬ КАТАЛИЗАТОРОВ КРОСС-СОЧЕТАНИЯ СУЗУКИ

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-5-55-58

В данной работе приводятся результаты тестирования Pd-содержащих катализаторов на основе сверхсшитого полистирола в реакции кросс-сочетания 4-броманизола и фенилбороновой кислоты в присутствии NaOH в качестве основания. Показано, что Pd в составе катализаторов присутствует в форме Pd(II), а также наночастиц и кластеров Pd(0). При этом активность невосстановленных и предварительно восстановленных в токе водорода катализаторов коррелирует с содержанием Pd(II) на поверхности.

Ключевые слова: *кросс-сочетание Сузуки, палладий, сверхсшитый полистирол, наночастицы палладия, кластеры палладия.*

Введение

Реакция кросс-сочетания Сузуки является одним из часто используемых методов формирования биарилов, в котором в качестве субстратов используются арил-галиды и арилбороновые кислоты [1]. В настоящее время безлигандные катализаторы реакции Сузуки рассматриваются как альтернатива традиционным гомогенным катализаторам [2]. Однако ввиду особенностей каталитического цикла (обратимого изменения степени окисления палладия с Pd(II) до Pd(0), а также процесса Оствальдовского созревания) при использовании безлигандных катализаторов сложно провести кинетический анализ реакции Сузуки. Таким образом, для описания поведения большинства безлигандных катализаторов был предложен термин «каталитические системы коктейльного типа» [3].

Данная статья посвящена исследованию зависимости поведения Pd-содержащих катализаторов реакции Сузуки на основе сверхсшитого полистирола (СПС) от состава и морфологии активной фазы.

Экспериментальная часть

Методика синтеза катализаторов

Серия катализаторов Pd/MN270 была синтезирована методом импрегнации СПС марки MN270 [4] растворами следующих прекурсоров: $PdCl_2$, $PdCl_2(CH_3CN)_2$, $PdCl_2(C_6H_5CN)_2$ (катализаторы обозначены как Pd/MN270-1, Pd/MN270-2 и Pd/MN270-3, соответственно). Кроме того, все катализаторы были восстановлены в токе водорода при 300 ^oC в течение трех часов (обозначены буквой «В»). Все образцы были охарактеризованы методами просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) и рентгенофотоэлектронной спектроскопии (РФЭС).

Методика проведения реакции Сузуки

Реакция проводилась в изотермическом стеклянном реакторе при следующих условиях: количество 4-броманизола (4-БрАн) 1 ммоль, количество фенилбороновой кислоты 1.5 ммоль, в качестве основания использовали NaOH (1.5 ммоль). Растворитель – смесь этанола и воды в соотношении 5:1. Реакцию проводили в инертной атмосфере (азот) при температуре

60 °С. Пробы анализировались методом GS-MS (Shimadzu GCMS-QP2010S). Для построения калибровочных зависимостей использовались химически чистые вещества, внутренним стандартом служил дифениламин.

Результаты и обсуждение

Результаты тестирования невосстановленных и восстановленных в токе водорода катализаторов представлены в таблице 1 и на рисунке 1.

Таблица 1 – Результаты тестирования катализаторов Pd/MN270

Катализатор	Содержание Pd, мас.%	Средний диаметр НЧ Pd (данные ПЭМ)	Конверсия 4-БрАн (%) за время реакции 1 ч
Pd/MN270-1	1.65	4.8 ± 1.7 нм	89.9
Pd/MN270-2	1.48	6.7 ± 1.6 нм и агрегаты диаметром до 25 нм	90.5
Pd/MN270-3	1.97	5.2 ± 1.6 нм и агрегаты диаметром до 30 нм	88.6
Pd/MN270-1-B	1.65	4.4 ± 1.3 нм	94.8
Pd/MN270-2-B	1.48	мультимодальное распределение с наиболее сильной модой при 8.5 ± 2.1 нм и агрегаты диаметром до 22 нм	98.2
Pd/MN270-3-B	1.97	3.8 ± 1.1 нм и агрегаты диаметром до 21 нм	81.2

Очевидно, что природа прекурсора Pd оказывает слабое влияние на каталитическую активность невосстановленных образцов (Рис. 1а). Однако наиболее высокая начальная скорость конверсии 4-БрАн достигалась с использованием MN270, импрегнированного $PdCl_2(CH_3CN)_2$. В случае предварительно восстановленных образцов наиболее высокая конверсия 4-БрАн также наблюдалась для Pd/MN270-2-B (Рис. 1б, таблица 1).

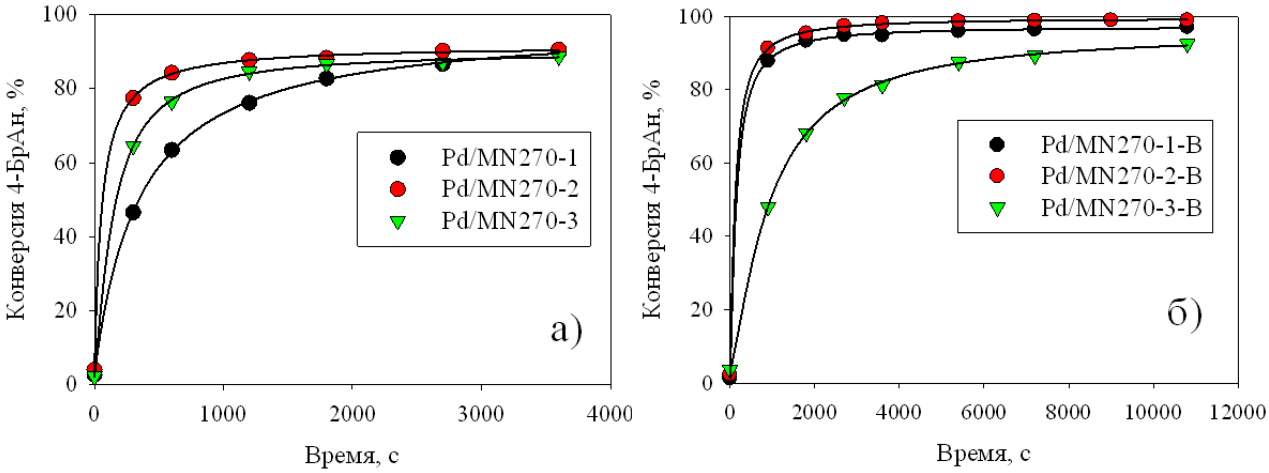


Рисунок 1 – Зависимость конверсии 4-БрАн от времени для невосстановленных катализаторов (а) и для катализаторов, предварительно восстановленных в токе H_2 (б)

Важно отметить, что для всех катализаторов на основе СПС характерен логарифмический тип кинетической кривой (Рис. 1). При этом высота «полочки» зависит от типа катализатора (восстановленный или невосстановленный), а также от природы прекурсора палладия.

На рисунке 2 представлены ПЭМ микрофотографии невосстановленных катализаторов Pd/MN270, взятых после однократного использования в реакции Сузуки (Рис. 2а-в). В случае катализаторов, содержащих $PdCl_2(CH_3CN)_2$ и $PdCl_2(C_6H_5CN)_2$, после реакции Сузуки сформировались большие агрегаты НЧ неправильной формы (Рис. 2б и 2в), тогда как в образце, импрегнированном $PdCl_2$, наблюдалось более узкое распределение НЧ по размерам

(Рис. 2а). В случае образцов Pd/MN270-1-B и Pd/MN270-3-B, предварительное восстановление в токе водорода позволило сформировать НЧ Pd диаметром приблизительно 4-5 нм (Рис. 2г и 2е). При этом в образце Pd/MN270-3-B также присутствовала фракция крупных НЧ Pd диаметром более 10 нм. В отличие от Pd/MN100-2, импрегнированного $PdCl_2(CH_3CN)_2$ (Рис. 2б), в образце Pd/MN270-2-B (Рис. 2д) после обработки H_2 образовались крупные НЧ со средним диаметром 8.5 ± 2.1 нм и мультимодальным распределением по размерам.

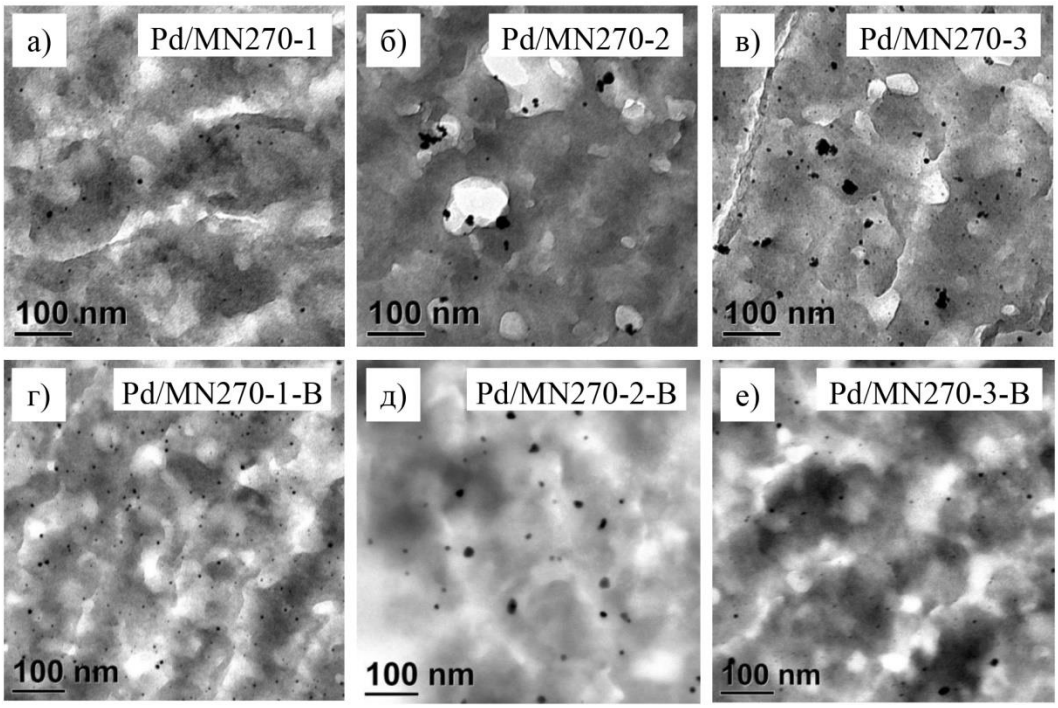


Рисунок 2 – ПЭМ микрофотографии катализаторов серии Pd/MN270

Таким образом, принимая во внимание размер НЧ, невозможно объяснить наблюдаемые различия в активности катализаторов Pd/MN270.

Результаты РФЭС показали, что в ходе синтеза катализаторов прекурсоры Pd претерпевают ряд изменений. В частности, происходит отщепление лигандов (в случае $PdCl_2(CH_3CN)_2$ и $PdCl_2(C_6H_5CN)_2$), а также частичное осаждение и стабилизация палладия в виде малых кластеров и НЧ. Однако, независимо от природы прекурсора, было обнаружено, что в случае невосстановленных и восстановленных катализаторов серии Pd/MN270 активность коррелирует с содержанием Pd(II) на поверхности (Рис. 3). При этом с увеличением доли Pd(II) возрастает конверсия 4-БрАн.

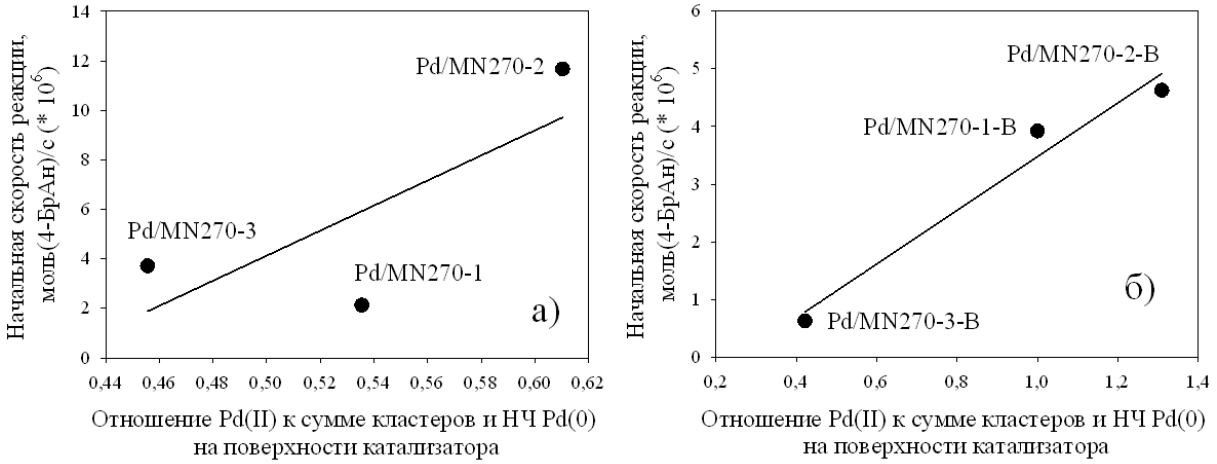


Рисунок 3 – Зависимость начальной скорости реакции от отношения Pd(II) к сумме кластеров и НЧ Pd(0) на поверхности катализаторов Pd/MN270

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант 15-19-20023).

Список литературы

1. *Huang L., Chen F., Wang Y., Wong P.K.* Suzuki chemistry - a promising ligand-free metal catalyst system in situ generated from Pd^{II} supported on MgO // Phys. Chem. – 2013. – V. 3. – P. 21-28.

2. *Pagliaro M., Pandarus V., Ciriminna R.* Heterogeneous versus homogeneous palladium catalysts for cross-coupling reactions // ChemCatChem. – 2012. – V. 4. – P. 432-445.

3. *Eremin D.B., Ananikov V.P.* Understanding active species in catalytic transformations: From molecular catalysis to nanoparticles, leaching, “Cocktails” of catalysts and dynamic systems // Coord. Chem. Rev. – 2017. – V. 346. – P. 2-19.

4. *Sulman E.M., Nikoshvili L.Zh., Matveeva V.G., Tyamina I.Yu., Sidorov A.I., Bykov A.V., Demidenko G.N., Stein B.D., Bronstein L.M.* Palladium containing catalysts based on hypercrosslinked polystyrene for selective hydrogenation of acetylene alcohols // Top. Catal. – 2012. – V. 55. – P. 492-497.

02.00.15

А.А. Степачёва[1*] канд. хим. наук, М.Е. Маркова[2], А.В. Гавриленко[3] канд. хим. наук, В.Г. Матвеева[1] д-р хим. наук, М.Г. Сульман[3] д-р хим. наук, Э.М. Сульман[1] д-р хим. наук

[1]Тверской государственный технический университет,
кафедра Биотехнологии и химии,
Тверь, *a.a.stepacheva@mail.ru
[2]Тверской государственный университет,
Региональный технологический центр, Тверь
[3]Тверской государственный технический университет,
кафедра Стандартизации, сертификации и управления качеством, Тверь

Ni-СОДЕРЖАЩИЙ КАТАЛИЗАТОР ДЛЯ ДЕОКСИГЕНИРОВАНИЯ ЖИРНЫХ КИСЛОТ

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-5-59-61

В данной работе проведено исследование процесса деоксигенирования стеариновой кислоты, выбранной в качестве модельного соединения, в среде сверхкритического гексана в присутствии нового никельсодержащего катализатора, синтезированного гидротермальным методом. Было показано, что использование синтезированного катализатора сдвигает селективность получаемых продуктов к C_{16}-C_{17} углеводородам по сравнению с некаталитическим процессом.

Ключевые слова: *никель, сверхсшитый полистирол, деоксигенирование, сверхкритический гексан.*

Введение

Триглицериды являются одним из компонентов биомассы, который, благодаря своему составу, может быть использован в качестве источника для получения углеводородов. Конверсия растительных масел и жиров является одним из способов получения экологически чистых автомобильных топлив с низким содержанием серы, кислорода и ароматических веществ [1]. Процесс деоксигенирования является одним из наиболее изученных методов производства топлива из триглицеридов [2].

Интерес ученых в основном сосредоточен на разработке активных и эффективных серо-не-содержащих катализаторов, позволяющих получать разветвленные углеводороды с высокой селективностью. Например, катализаторы на основе Pt [3], Pd [1, 4], Ni [5], Co [6] показали высокий выход углеводородов в деоксигенировании жирных кислот. Несмотря на многочисленные исследования, посвященные разработке катализаторов, практическая осуществимость процесса остается важной проблемой. Будучи газо-твердо-жидкофазной реакцией, скорость деоксигенирования сильно зависит от растворимости водорода в жидкой фазе [7]. Поэтому процесс проводят в жестких условиях с использованием высоких температур (300-500 °C) и давлений (до 6.0 МПа). По этим причинам в последние годы интерес исследователей сосредоточен на снижении условий проведения процесса, а также возможности проведения реакции в безводородной среде. Использование сверхкритических флюидов может помочь решению проблемы. Сверхкритические жидкости могут служить донорами атомов водорода, исключая, таким образом, необходимость использования молекулярного водорода. В литературе высокую эффективность в деоксигенировании триглицеридов и жирных кислот показали следующие сверхкритические жидкости: диоксид углерода [9], вода [8], пропан [9] и н-гексан [9].

В данной работе проведено исследование процесса деоксигенирования стеариновой кислоты, выбранной в качестве модельного соединения, в среде сверхкритического гексана в присутствии нового никельсодержащего катализатора, синтезированного гидротермальным методом.

Экспериментальная часть

Синтез катализатора

Синтез никелевого катализатора проводился в реакторе Parr-4307 (Parr Instrument, США). В реактор вносились 15 мл дистиллированной воды, 1 г сверхсшитого полистирола (MN-270, PuroliteInc., Великобритания), 0.1 г гидрокарбоната натрия (х.ч., Реахим, Россия) для подщелачивания и шестиводный нитрат никеля (х.ч., Аурат, Россия) в количестве 10 масс. % от массы носителя. Реактор герметизировался, продувался азотом и нагревался до 200 °С под давлением 6.0 МПа. Синтез катализатора проводился в течение 15 минут, после чего реакционная смесь охлаждалась до комнатной температуры, фильтровалась и промывалась растворителем до отсутствия реакции на нитрат-ионы. Катализатор предварительно восстанавливался в токе водорода при 300 ºС в течение 6 часов.

Деоксигенирование стеариновой кислоты

Стеариновая кислота (99.9%, ХимМедСервис, Россия) использовалась в качестве модельного соединения. Гексан (х.ч, Купавнареактив, Россия) использовался в качестве растворителя. Процесс проводился в реакторе Parr Series 5000 Multiple Reactor System (Parr Instrument, США) при следующих условиях: температура – 250 °С, давление азота – 3.0 МПа, общее давление в системе – 6.8 МПа, концентрация стеариновой кислоты – 0.2 моль/л, масса катализатора – 0.1 г. Образцы жидкой фазы отбирались каждые 5 минут. Анализ жидкой фазы проводился с использованием газового хроматографа GC-2010 и масс-спектрометраGCMS-QP2010S (SHIMADZU, Япония).

Результаты и обсуждение

Чтобы оценить влияние синтезированного катализатора на деоксигенирование стеариновой кислоты в среде сверхкритического н-гексана, эксперименты проводились без катализатора и в присутствии восстановленного Ni-MN-270. Кривые расходования стеариновой кислоты представлены на рисунке 1. Хорошо видно, что использование Ni- MN-270 уменьшает время полной конверсии субстрата в 1.5 раза. Установлено, что относительная скорость деоксигенирования при 50% конверсии субстрата составляет 0,024 и 0,042 мин$^{-1}$ для некаталитического и каталитического процесса соответственно. Следует отметить, что при проведении некаталитического процесса в среде классического растворителя (додекана), только 3% конверсии стеариновой кислоты наблюдалось после 60 минут эксперимента [10].

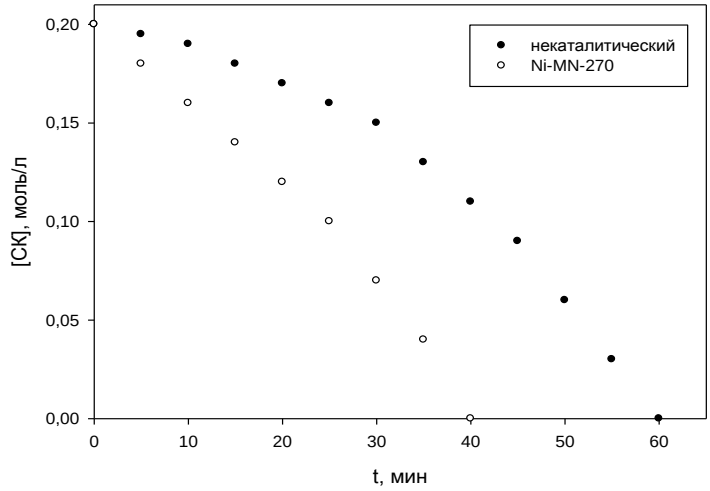


Рисунок 1 – Кривые расходования стеариновой кислоты

Анализ жидкой фазы показал, что в случае некаталитического процесса C_{10}-C_{12} углеводороды являются основными продуктами реакции. При использовании Ni-MN-270 наблюдается сдвиг селективности к C_{16}-C_{17} углеводородам (Таблица 1, строки 1-2). Следует отметить, что анализ состава жидких продуктов показал отсутствие ненасыщенных углеводородов. Это можно объяснить Н-донорным характером сверхкритического н-гексана.

Для оценки стабильности катализатора были проведены эксперименты по многократному использованию катализатора (Таблица 1, строки 3-4). Можно видеть, что Ni-MN-270 сохраняет свою активность минимум в течение 5 повторных циклов. Небольшое увеличение селективности C_{13}-C_{15} можно объяснить деструкцией C_{16}-C_{17} продуктов адсорбированных на поверхности катализатора. Однако снижение селективности целевого продукта является незначительным и может быть связано с погрешностью измерения. Таким образом, новый Ni-содержащий катализатор оказался эффективным в деоксигенировании стеариновой кислоты в среде сверхкритического н-гексана.

Таблица 1 - Результаты деоксигенирования стеариновой кислоты в среде сверхкритического гексана

	Относительная скорость, мин$^{-1}$	**Конверсия после 40 минут, %**	**Состав продуктов при 100% конверсии, %**		
			C_{10}-C_{12}	**C_{13}-C_{15}**	**C_{16}-C_{17}**
Некаталитический	0.024	45.0	80.1	18.6	1.3
Ni-MN-270	0.042	100.0	3.7	5.4	90.9
2 цикл	0.042	100.0	3.7	5.4	90.9
3 цикл	0.042	100.0	3.6	5.6	90.8
4 цикл	0.041	100.0	3.2	6.1	90.7
5 цикл	0.041	100.0	3.2	6.1	90.7

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований (проект 16-08-00041А) и Российского Научного Фонда (проект 17-79-10089).

Список литературы

1. *Meller E., Green U., Aizenshtat Z., Sasson Y.* Catalytic deoxygenation of castor oil over Pd/C for the production of cost effective biofuel // Fuel. - 2014. – V. 133. – C. 89-95.
2. *Arun N., Sharma R.V., Dalai A.K.* Green diesel synthesis by hydrodeoxygenation of bio-based feedstocks: Strategies for catalyst design and development// Renewable & Sustainable Energy Reviews. - 2015. - V. 48 - C. 240-255.
3. *Kon K., Onodera W., Takakusagia S., Shimizu K.* Hydrodeoxygenation of fatty acids and triglycerides by Pt-loaded Nb_2O_5 catalysts // Catalysis Science & Technology. – 2014. - V. 4. – C. 3705–3712.
4. *Gosselink R.W., Hollak S.A.W., Chang S.W., van Haveren J., de Jong K.P., Bitter J.H., van Es D.S.* Reaction Pathways for the Deoxygenation of Vegetable Oils and Related Model Compounds // ChemSusChem. – 2013. - V.6. - P. 1576-1594.
5. *Ma B., Zhao C.* High-grade diesel production by hydrodeoxygenation of palm oil over a hierarchically structured Ni/HBEA catalyst // Green Chemistry. – 2015. – Vol. 17. – P. 1692-1701.
6. *Srifa A., Faungnawakij K., Itthibenchapong V., Assabumrungrat S.* Roles Of Monometallic Catalysts In Hydrodeoxygenation Of Palm Oil To Green Diesel // Chemical Engineering Journal. – 2015. – V. 278. – P. 249-258.
7. *Kim S.K., Lee H.S., Hong M.H., Lim J.S., Kim J.* Low-temperature, Selective Catalytic Deoxygenation of Vegetable Oil in Supercritical Fluid Media // ChemSusChem. – 2014. – V. 7. – P. 492-500.
8. *Fu J., Lu X., Savage P.E.* Hydrothermal decarboxylation and hydrogenation of fatty acids over Pt/C // Energy Environmental Science. – 2010. – V. 3. – P. 311–317.
9. *Fang X., Shi Y., Wu K., Liang J., Wu Y., Yang M.* Upgrading of palmitic acid over MOF catalysts in supercritical fluid of n-hexane // RSC Advances. – 2017. – V. 7. – P. 40581-40590.
10. *Sapunov V.N., Stepacheva A.A., Sulman E.M., Wärnå J., Mäki-Arvela P., Sulman M.G., Sidorov A.I., Stein B.D., Murzin D.Y., Matveeva V.G.* Stearic acid hydrodeoxygenation over Pd nanoparticles embedded in mesoporous hypercrosslinked polystyrene // J. Ind. Eng. Chem. – 2017. – V. 46. – P. 426-435.

02.00.15

Б.Б. Тихонов канд. хим. наук, П.Ю. Стадольникова, А.И. Сидоров канд. хим. наук, Э.М. Сульман д-р хим. наук

Тверской государственный технический университет,
Тверь, science@science.tver.ru

ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА И УСЛОВИЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ МУЛЬТИФЕРМЕНТНОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ОКСИДОРЕДУКТАЗ

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-5-62-65

В статье проведена экспериментальная оптимизация мультиферментной системы (пероксидаза, глюкозооксидаза, каталаза) для обеспечения ее эффективного функционирования в процессах окисления органических соединений. Проведено варьирование компонентного состава системы и условий процесса, выявлены оптимальные значения этих параметров.

Ключевые слова: *оксидоредуктазы, пероксидаза хрена, глюкозооксидаза, каталаза, мультиферментная система, оптимизация.*

Мультиферментные системы на основе ферментов класса оксидоредуктаз широко используются в различных процессах аналитической химии, биотехнологии и химической технологии [1]. Наиболее широко применяют совместно применяют пероксидазу и глюкозооксидазу (например, для определения содержания глюкозы в биологических жидкостях) [2]. Одной из важных проблем, которые необходимо решить при использовании такой системы, является присутствие в большинстве препаратов глюкозооксидазы в некотором количестве каталазы, которая снижает эффективность процесса, расходуя часть образующейся перекиси водорода [3]. В связи с этим, целью данного исследования было определение оптимального состава и условий функционирования мультиферментной системы на основе пероксидазы, глюкозооксидазы и каталазы.

Методы и методики

Реактивы

В работе использовали следующие реактивы и материалы (в скобках – условное обозначение). Пероксидаза хрена (HRP) получена из сердцевины корня хрена обыкновенного (Armoracia rusticana) по стандартной методике [4]. Источником глюкозооксидазы (GOx) и каталазы был препарат Multifect® GO 1500L (Genencor, A Danisco Division). Субстраты для исследования действия ферментов: о-дианизидин (Sigma Aldrich); глюкоза (Fluka); перекись водорода (ООО «Росбио», 3%-ный водный раствор). Также использовались буферные растворы с pH = 1,65; 4,01; 6,0; 7,0; 9,18; 12,43 (ЗАО «Уралхиминвест»).

Методика проведения исследований

Исследуемый процесс включал 2 стадии:

$$O_2 + \beta\text{-D-глюкоза} \rightarrow \delta\text{-глюконо-1,5-лактон} + H_2O_2 \quad (1)$$

$$\text{о-дианизидин} + H_2O_2 \rightarrow \text{о-дианизидин (окисленный)} + H_2O \quad (2)$$

В результате формируются окрашенные продукты, регистрируемые спектрофотометрически при длине волны 460 нм на спектрофотометре СФ-2000 (ОКБ «Спектр»).

Так как препарат глюкозооксидазы в качестве примеси содержит некоторое количество каталазы, разлагающей образующуюся в реакции (1) перекись водорода, было проведено исследование влияния соотношения GOx/HRP на ход процесса. Количество растворов HRP и GOx оставалось неизменным, при этом было проведено последовательное разбавление

исходного раствора GOx фосфатным буферным раствором с pH=7,0 в 10, 50 и 100 раз для минимизации влияния каталазы на протекание исследуемых реакций. Для определения доли каталазной активности в общей системе также был изучен ход реакции при отсутствии HRP в реакционной смеси.

Для наиболее полного изучения совместной работы ферментов были проведены сравнительные эксперименты для 4 различных систем: «HRP - о-дианизидин - H_2O_2» (стандартная реакция (2), где H_2O_2 добавляется в реакционную смесь без реакции (1)); «HRP - GOx - о-дианизидин - глюкоза» (реакции (1) и (2)); «HRP - GOx - о-дианизидин - глюкоза» (реакция (2) с добавлением GOx); «GOx - о-дианизидин - глюкоза» (реакция (1) с добавлением о-дианизидина).

Для изучения зависимости скорости реакции от pH реакция проводилась в буферных растворах с соответствующими значениями pH (1,68; 4,01; 6,0; 7,0; 9,18; 12,43). Для исследования температурной зависимости реакция проводилась в термостатируемом реакторе при различных температурах.

Результаты и обсуждение

На рисунке 1 представлен ход реакции при различных соотношениях растворов HRP и GOx. Как видно из рисунка 1, наименьшая активность каталазы регистрируется при разбавлении исходного раствора фермента в 100 раз, при этом разница между кривыми, соответствующими ходу реакции с HRP и без нее, наибольшая, поэтому далее использовалось именно это соотношение HRP и GOx.

На рисунке 2 представлено сравнение действия 4 различных систем. Из рисунка 2 видно, что наибольшая активность достигается в стандартной системе «HRP - о-дианизидин - H_2O_2». Разница между значениями оптической плотности, наблюдаемая в системах GOx - HRP - о-дианизидин» и «GOx - HRP - о-дианизидин - глюкоза», невелика, это связано с тем, что окисление о-дианизидина в системе без глюкозы происходит за счет кислорода воздуха. Наименьшую активность демонстрирует система без пероксидазы «GOx - о-дианизидин - глюкоза», что абсолютно логично, так как в этом случае о-дианизидин практически не окисляется (слабый рост оптической плотности связан с активностью каталазы в препарате глюкозооксидазы).

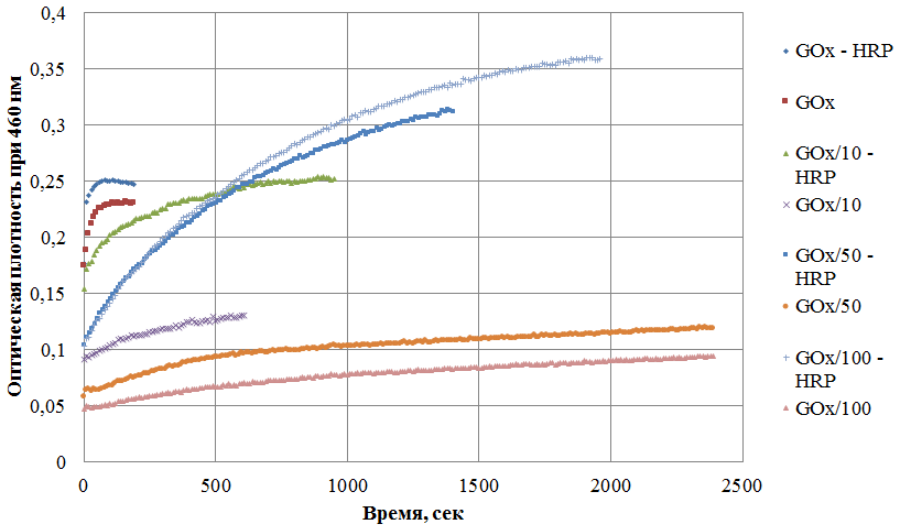


Рисунок 1 – Ход реакции окисления о-дианизидина при различных соотношениях HRP и GOx (C_0 = 2,1 мМ, t = 25°C)

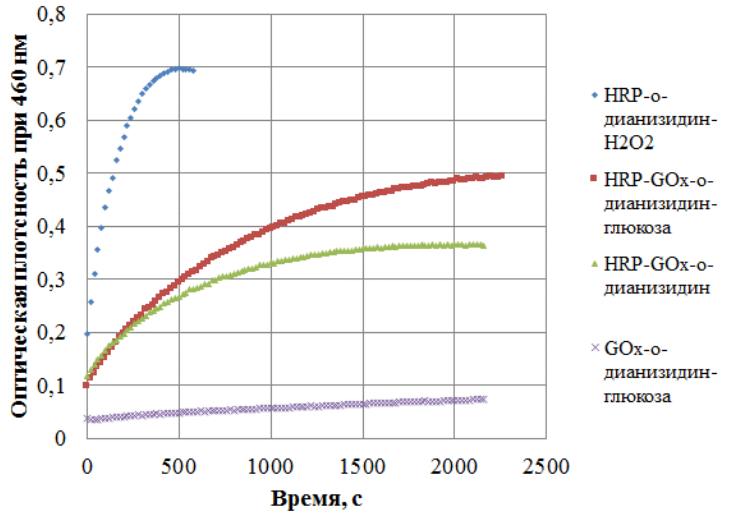


Рисунок 2 – Сравнение хода реакции в различных сочетаниях компонентов реакционной смеси (C_0 = 2,1 мМ, t = 25°C)

Результаты изучения зависимости скорости реакции от pH представлены на рисунке 3.

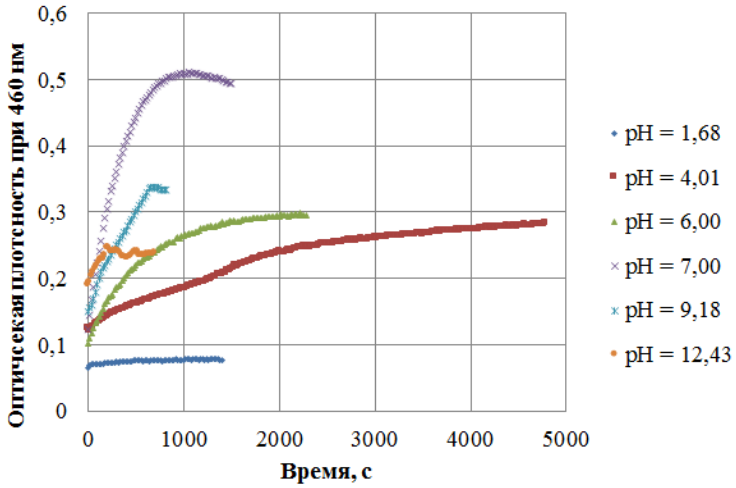


Рисунок 3 – Ход реакций окисления о-дианизидина при различных значениях pH

Как видно из рисунка 3, наибольшую активность каталитическая система проявила при значении pH = 6,0.

На рисунке 4 представлены результаты изучения температурной зависимости хода реакции.

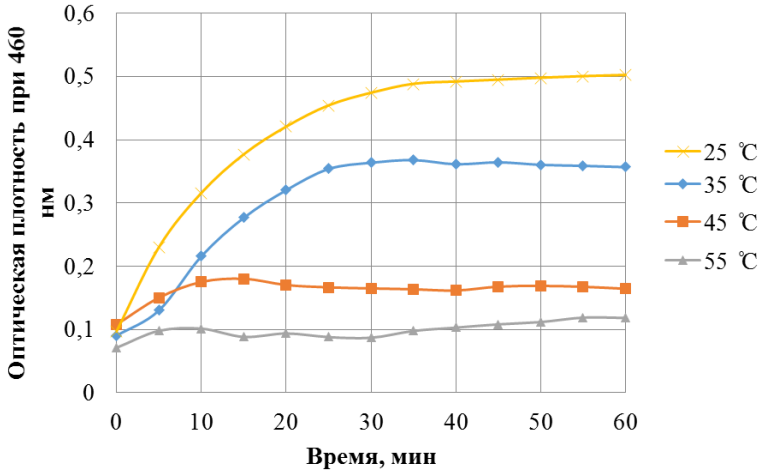


Рисунок 4 – Ход реакции окисления о-дианизидина при различных температурах

Как видно из представленных графиков, оптимальной для проведения реакции является температура 25 ºС, при дальнейшем увеличении температуры происходит постепенная инактивация GOx и HRP.

Выводы

В ходе работы выявлено оптимальное соотношение компонентов мультиферментной системы, изучено влияние каталазной активности на совместную деятельность пероксидазы и глюкозооксидазы, определены оптимальные условия проведения процесса (pH = 6,0; t = 25ºС).

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 18-08-00424) и Российского научного фонда (проект 17-19-01408)

Список литературы

1 *Kandimalla V.B., Tripathi V.S., Ju H.* Immobilization of biomolecules in sol–gels: biological and analytical applications // Crit. Rev. Anal. Chem. – 2006. - №36. P. 73-106.

2 *Bankar S.B., Bule M.V., Singhal R.S., Ananthanarayan L.* Glucose oxidase — An overview // Biotech. Adv. - 2009. - № 27. - P. 489–501.

3 *Morthensen S.T., Meyer A.S., Jørgensen H., Pinelo M.* Significance of membrane bioreactor design on the biocatalytic performance of glucose oxidase and catalase: Free vs. immobilized enzyme systems // Biochem. Eng. J. – 2017. - № 117. – P. 41-47.

4 *Тихонов Б.Б., Сидоров А.И., Сульман Э.М.* Биокатализатор для очистки сточных вод от фенолов на основе пероксидазы хрена, иммобилизованной на модифицированных хитозаном ионообменных смолах // Катализ в промышленности. – 2007. - № 3 - с. 48-50.

02.00.01

В.В. Хасанов канд. хим. наук, Т.А. Борукаев д-р хим.наук, Л.А. Мусаева, А.А. Кяров канд. хим. наук

Кабардино-Балкарский государственный университет имени Х.М. Бербекова,
Институт Химии и Биологии, кафедра неорганической и физической химии,
Нальчик, Vlad.khasanov.2017@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИНТЕЗИРОВАННОГО $ZnMoO_4$ В КАЧЕСТВЕ ДЫМОГАСИТЕЛЯ ДЛЯ ПВХ КАМПАУНДОВ

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-5-66-69

Разработан перспективный способ получения молибдата цинка с количественным выходом. Обнаружено, что молибдат цинка эффективно снижает количество выделяющегося дыма при горении ПВХ-пластиката. Показано, что механизм подавления дыма синтезированным молибдатом цинка заключается в образовании карбонильных соединений при окислении сажевых компонентов горения.

Ключевые слова: *молибдат цинка, получение, ПВХ-пластикат, антидымные присадки.*

Неорганические молибдаты стандартно используются в полимерной промышленности для уменьшения количества дыма, выделяющегося при горении из пластмасс. При этом используется присущее молибдатам свойство способствовать процессу обугливания. Наибольшим признанием пользуется полимолибдаты[1,2,4], в том числе и октамолибдат аммония. Однако высокая стоимость молибдена и большое процентное содержание Мо в ОМА (61% в пересчете на оксид молибдена) являются причиной того, что производители ПВХ стремятся найти новые оптимизированные и более эффективные методы синтеза противодымных добавок к поливинилхлориду. А он (ПВХ) является одним из базовых промышленных полимеров на основе которого получают огромное количество пластифицированных материалов, используемых практически во всех отраслях химической промышленности в том числе в кабельной промышленности, где он находит применение в качестве эффективного изоляционного материала [3].

Требования к огнестойкости кабельной продукции повышается изо дня в день, а потому проблема получения полимерных кабельных материалов с высокими эксплуатационными свойствами является актуальной и востребованной различными отраслями химической промышленности.

В связи с этим поиск новых более рациональных путей синтеза новых неорганических молибдатов с более низким содержанием Мо на основе молибдата цинка является актуально и приоритетной задачей полимерной химии.

В качестве дымогасителя в работе использовали полученный нами по оптимизированной методике молибдат цинка с количественным выходом. В частности, приготовленный и очищенный от примесей соответствующим образом и рассчитанное эквимолярное количество молибдата аммония растворяли в дистиллированной воде и нагревали раствор до температуры 50-60 °С. В подготовленный таким образом раствор вливали эквимолярный раствор сульфата цинка также подогретую до температуры 40-50 °С. Реакционную смесь перемешивали в течение 30-40 пока полностью реакция не завершилась. Схему реакции можно представить следующим образом:

$$(NH_4)_2MoO_4 + ZnSO_4 .7\ H_2O \rightarrow (NH_4)_2\ SO_4 + ZnMoO_4 + 7H_2O.$$

Образовавшийся раствор с осадком молибдата цинка нагревали, затем упаривали до минимального объема с ротационного испарителя. Далее раствор оставляли при комнатной температуре несколько дней, после этого выпавшие белые с кремовым оттенком кристаллы

молибдата цинка отфильтровывали, промывали большим количеством воды и подобранного электролита и просушив на воздухе помещали в эксикатор. Проведенные рентгенофазовый и рентгеноэлементный анализы подтвердили подлинность синтезированный кристаллов молибдата цинка. Дифрактограмма синтезированных кристаллов приводится на рис.1

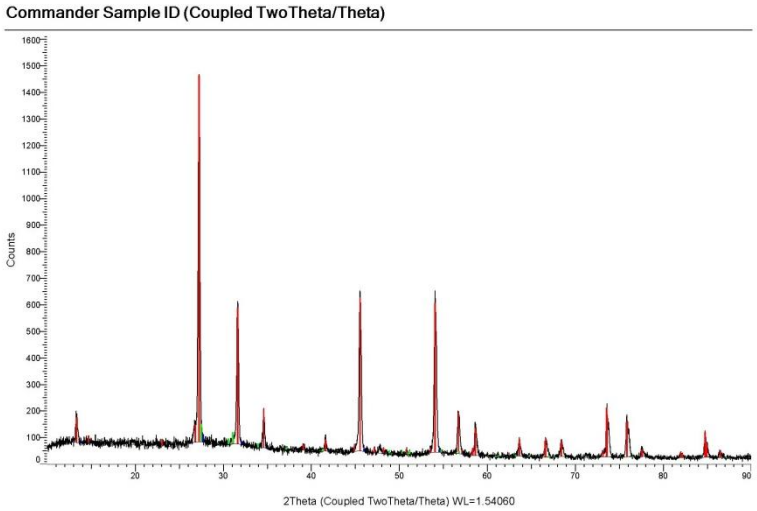


Рис.1 Дифрактограмма полученного $ZnMoO_4$

Полимерной матрицей для дальнейших исследований служил пластикат марки И56-19АХ. Синтезированный $ZnMoO_4$ в ПВХ-пластикат вводили диспергированием ее на стадии горячего смешения (смеситель DIOSNAD-49074 Германия) основных компонентов при получении пластиката. Затем смесь экструдировали с помощью двушнекового экструдера с диаметром шнека 20 мм при температуре 140 - 165 °С. Количество соли составляло 5 масс.%. Затем экструдаты гранулировали и использовали для изготовления соответствующих образцов для испытаний. Для определения количества выделяющейся теплоты и образующегося при горении пластикатов удельного объема дыма проводились исследования на кон-калориметре (производство Италия) по ISO 5660-1:2002. Образцы компаундов (пластины размером 150×150×2,0 мм) на основе исходного ПВХ-пластиката марки И56-19АХ и модифицированного 5 масс.% присадки подвергались воздействию теплового потока мощностью 35 кВт/м^2.

Пламя находилось на расстоянии 6,4 мм от образца.

Для определения влияния молибдата цинка на устойчивость к горению пластиката был проведен расчет скорости тепловыделения, с использованием кон-калориметрического анализа. Результаты исследований приведены на рис. 2 и 3. Из них видно, что в начальный момент процесса горения образцов скорость тепловыделения практически одинакова. Однако, затем скорость тепловыделения для пластиката, содержащего искомый $ZnMoO_4$,значительно снижается, что можно объяснить тем, образованием в начальной стадии горения материала эффективного коксового слоя, что и предопределяет характер горения.

Важно отметить, что при горении образцов общее количество выделяющегося тепла для пластиката, содержащего $ZnMoO_4$ значительно ниже, чем для стандартного. Видимо, такое эффективное понижение тепловыделения связано с тем, что $ZnMoO_4$ катализирует процессы, образующие структурные фрагменты транс-полимера, коксование и обугливание. Единственный пик на кривой скорости тепловыделения для пластиката с ОМА (рис. 2) свидетельствует о достаточной устойчивости образующейся кокосовой корки к растрескиванию.

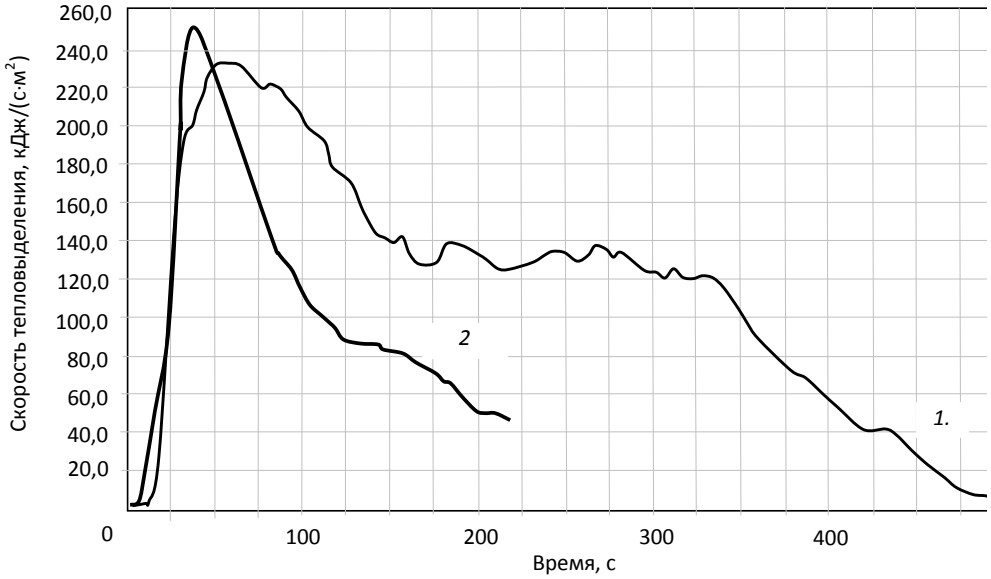


Рис. 2. Зависимость скорости тепловыделения от времени сгорания образцов:
1 –Пластикат марки И56-19АХ; 2 – Пластикат + 5% $ZnMoO_4$.

Такая устойчивая корка будет эффективно препятствовать процессу тепловыделения, а также сделает невозможным образование ароматических элементов, характерных для дыма. В результате при равных условиях горения двух пластикатов, исходный образец, в отличие от пластиката с дымоподавителем, будет способствовать дальнейшему распространению зоны горения.

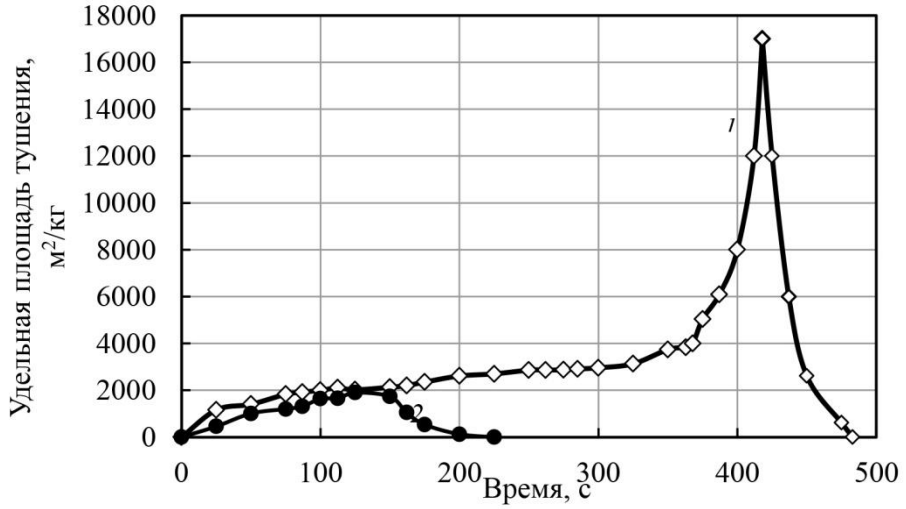


Рис. 3. Зависимость скорости дымовыделения от времени сгорания образцов: 1 –
Пластикат марки И56-19АХ; 2 – Пластикат + 5% $ZnMoO_4$

Доказательством снижения дыма говорят и результаты оценки количества образующегося дыма при горении стандартного пластиката и пластиката с добавками $ZnMoO_4$. Количество образующегося дыма при горении пластиката содержащего $ZnMoO_4$ значительно ниже, чем при горении стандартного пластиката, что отчетливо демонстрируется графиком на рис. 3 Такое снижение количества выделяющегося дыма при горении пластиката, содержащего $ZnMoO_4$ подтверждает эффективность использования последнего. Водосодержащий наполнитель $ZnMoO_4$ понижает дымообразование, промотируя окисление горячих частиц сажи, которые образуются при разложении материала в зоне его горения, чем и можно объяснить значительное снижение дыма. Таким образом молибдат цинка эффективно проявляет свои возможности в устранении углеродных частиц дыма по реакции: $\boldsymbol{C + H_2O \rightarrow CO + H_2}$

При этом окислительные процессы, очевидно, идут через металлкарбонильные промежуточные соединения и катализируются соединениями металлов, образующих карбонилы и именно для этого используют молибден в форме молибдата цинка, который реагирует при нужных температурах. Отмечено также, что введение молибдата цинка в пластикат также позволяет снизить температуру дымовыделения на 20-30^{o} С.

Таким образом, предложена простая и рациональная технология получения молибдата цинка с использованием в качестве исходных веществ дешевых и доступных материалов. Показано и доказано эффективность использования $ZnMoO_4$ в качестве добавки к ПВХ кампаундам для снижения количества выделяющегося тепла и дыма при их горении.

Список литературы

1. Руководство по разработке композиций на основе ПВХ./ Под ред. Гроссмана Р.Ф. Пер. с англ. Под ред. Гузеева В.В. – СПб.: Научные основы и технологии, 2009. – 614 с.

2. *Хасанов В.В., Борукаев Т.А., Кипшиева Т.А.,Фотова Д.М., Кагермазова М.А.* Синтез дымоподавляющих присадок ина основе неорганических молибдатов к ПВХ-пластикату и исследование их антидымных характеристик// Научно-технический вестник Поволжья, №4 2016 г – 140 с

3. *Николаев В.Г., Китайгора Е.А. и др.* К вопросу создания ПВХ пластикатов с пониженной пожарной опасностью и кабелей на их основе// Первая Межд. конф. по полимерным материалам пониженной горючести. – 1990, – Т.2.- С.135].

4. *Хасанов В.В., Витинг Л.М., Мотылькова С.М.* Растворяющая способность и физические свойства расплавов полимолибдатов калия// Вестн. Моск. Ун-та. Сер.2 Химия т. 30. 1989. С 316.

02.00.15

Е.И. Шиманская канд. хим. наук, Э.М. Сульман д-р хим. наук,
М.Г. Сульман д-р хим. наук

Тверской государственный технический университет,
кафедра биотехнологии и химии,
Тверь, shimanskaya-tstu@yandex.ru

КАТАЛИТИЧЕСКАЯ ГИДРОПЕРЕРАБОТКА ЛИГНИНА В ПРИСУТСТВИИ 3%RU, НАНЕСЕННОГО НА СВЕРХСШИТЫЙ ПОЛИСТИРОЛ

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-5-70-72

В данной работе представлены результаты исследования процесса каталитического гидрогенолиза лигнина, извлеченного из растительного сырья, в присутствии Ru-содержащего гетерогенного катализатора. Подобраны оптимальные параметры процесса.

Ключевые слова: *лигнин, гидрогенолиз, катализатор, сверхсшитый полистирол, биотопливо.*

Лигнин является вторым наиболее распространенным возобновляемым источником углерода на земле, уступая лишь целлюлозе. По структуре лигнин представляет собой смесь высокомолекулярных полифункциональных соединений [1]. Лигнин содержит свободные фенольные и алифатические гидроксогруппы, карбонильные группы, а концевые группы полимера представлены арилпропановыми, метоксильными, эфирными, бензиловыми, арилпропановыми и т.д. структурами. Все это делает лигнин подходящим сырьем для получения альтернативных видов топлив и других важных химических соединений [2, 3]. В настоящей работе представлены результаты изучения процесса гидрогенолиза лигнина с получением компонентов биотоплив с применением каталитической системы 3%Ru/MN270. Рутений показывает высокую активность в процессах гидрирования [4, 5] и ранее изучался в процессе гидрогенолиза лигнина [6].

Экспериментальная часть

Извлечение лигнина из растительного сырья

Для извлечения лигнина использовались опилки хвойных пород, полученные из лесоперерабатывающего завода, Тверская область, Сандовский район. Извлечение проводили следующим образом: предварительно измельченные опилки массой 1 г помещали в бюкс объемом 50 мл. Затем добавляли 15 мл 72% серной кислоты и нагревали в термостате до 24-25 °С в течение 2.5 ч при периодическом перемешивании. Далее реакционную смесь переносили в коническую колбу на 500 мл и промывали 200 мл 2н NaOH. После чего смесь слабо кипятили в течение часа. Фильтровали на следующий день на бумажном фильтре, высушенном до постоянной массы с использованием воронки Бюхнера. Отстоявшуюся жидкость сливали на фильтр, а затем переносили осадок с помощью горячей воды, добавляемой малыми порциями. Фильтрат сушили при температуре 103±2 °С до постоянной массы.

Определение состава выделенного лигнина

Для определения состава выделенного лигнина и его сравнения с промышленным образцом было проведено ИК-спектрометрическое исследование. Исследование проводилось с использованием ИК-Фурье-спектрометр IRPrestige-21 (Shimadzu, Япония) с делителем потока, выполненным из иодида цезия, и программным пакетом IRSolution. Идентификация проводилась по данным литературы [7].

Приготовление катализатора

Катализатор синтезировали методом пропитки СПС марки MN270 (Purolite Inc., Великобритания) по влагоемкости водным раствором гидроксотрихлорида рутения ($Ru(OH)Cl_3$) в комплексном растворителе: тетрагидрофуран + метанол + вода в соотношении 4:1:1 при комнатной температуре [8, 9]. Катализатор высушивается при температуре 70 °С и обрабатывается смесью едкого натра и пероксида водорода при 80 °С. Затем катализатор промывается водой до исчезновения реакции на хлорид-анионы в промывных водах и высушивается при 85 °С. Таким образом был синтезирован катализатор с содержанием рутения 3%. Физико-химические характеристики катализатора 3%Ru/MN270 представлены в работах [10, 11].

Гидрогенолиз лигнина

Реакцию гидрогенолиза проводили в реакторе Parr Series 5000 Multiple Reactor System в среде пропанола-2 [12]. Варьировали такие параметры как парциальное давление водорода (от 2 до 4 МПа), температура (от 200 до 300 ^oC) и соотношение субстрат/катализатор. В реактор вносили точные навески лигнина и катализатора 3%Ru/MN270, затем добавляли 50 мл растворителя, смесь три раза продували азотом, затем проводили нагрев до рабочей температуры в атмосфере азота. После чего реактор продували водородом и далее проводили реакцию при рабочих значениях давления водорода. Реакция проводилась при интенсивном перемешивании (1500 об/мин) для исключения внутридиффузионных торможений в течение 3 часов. Во время реакции каждые 30 минут производился отбор проб. По окончании реакции смесь переносили на предварительно взвешенный фильтр, сушили, и взвешивали сухой остаток для определения степени конверсии лигнина.

Анализ продуктов реакции

Анализ продуктов реакции проводится на газовом хроматографе GC-2010 снабженном масс-спектрометром. Были выбраны следующие условия: температура колонки 50 °С, температура впрыска 260 °С, давление газа 192.9 кПа, скорость потока 20 мл/мин, линейная скорость 20.6 см/сек, выдерживание 8 минут при 50 °С, далее нагрев до 280 °С, общее время 45 минут. Колонка HP-1, длина 100.0 м [13].

Результаты и обсуждения

Выход лигнина при выделении в лабораторных условиях составил 46±1%. Следует отметить, что особых различий в качестве и количестве продуктов не наблюдалось.

ИК-спектрометрическое исследование образцов лигнина

Для определения структуры выделенного лигнина и его сравнения с промышленным образцом было проведено ИК-спектрометрическое исследование. По результатам данного исследования было показано наличие основных пиков, характерных для лигнина (большинство пиков промышленного лигнина совпадают с пиками выделенного в лаборатории). Идентифицированы следующие полосы, характерные для лигнина: 1738-1709 $см^{-1}$ (валентные колебания С=О карбоксильных групп), 1605-1593 $см^{-1}$ (С-С-валентные колебания ароматического кольца и валентные колебания С=О), 1515-1505 $см^{-1}$ (С-С валентные ароматические скелетные колебания), 1470-1460 $см^{-1}$ (С-Н деформационные асимметричные колебания), 1430-1422 $см^{-1}$ (С-Н асимметричные деформационные колебания метоксильных групп), 1370-1365 (С-Н деформационные симметричные колебания), 1330-1325 $см^{-1}$ (скелетные колебания сирингильного кольца), 1270-1275 $см^{-1}$ (скелетные колебания гваяцильного кольца), 1128-1125 $см^{-1}$ (С-Н ароматические плоскостные деформационные колебания, С-О валентные колебания вторичных спиртов, С-О-С асимметричные валентные колебания), 1085-1030 $см^{-1}$ (С-О и С-Н деформационные колебания) [5].

Исследование каталитической системы 3%Ru/MN270 в процессе гидрогенолиза лигнина

Варьирование температуры реакции

Температура реакции варьировалась от 200 до 300 ^oC с интервалом в 50 ^oC. Было показано, что с увеличением температуры растет степень конверсии лигнина, а также увеличивается количество ароматических продуктов. Следует отметить, что сверхсшитый полистирол при 300^oC остается стабильным.

Варьирование соотношения субстрат/катализатор

Варьирование соотношения субстрат/катализатор проводилось при разных температурах. Были изучены следующие соотношения: 1:1, 10:1, 20:1, 30:1. Оптимальным соотношением, с точки зрения выхода ароматических соединений, является 20:1.

Варьирование парциального давления водорода

Эксперименты по варьированию парциального давления водорода показали, что оптимальным давлением для образования производных фенола является давление 4МПа. При давлении в 2МПа доминируют производные нафталина.

Заключение

На основании проведенных исследований было показано, что каталитическая система 3%Ru/MN270 является активной в процессе гидрогенолиза, при этом образуются в большом количестве производные фенола, которые могут быть использованы в качестве альтернативного топлива. Оптимальными условиями процесса являются: температура 300^{o}C, парциальное давление водорода 4 МПа, соотношение субстрат/катализатор 20:1.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного Фонда (18-79-00303) и Российского Фонда Фундаментальных Исследований (18-08-00609 А).

Список литературы

1. *Reale S., Di Tullio A., Spreti N., De Angelis F.* // Mass Spectrometry Reviews. – 2004. - V. 23. - P. 87-126.
2. *Bi P., Wang J., Zhang Y., Jiang P., Wu X., Liu J., Xue H., Wang T., Li Q.* // Bioresource Technology. - 183. -2015. – P. 10–17.
3. *Horбcek J., Homola F., Kubickovб I., Kubicka D.* // Catalysis Today. – 179. – 2012. – P. 191– 198.
4. *Geboers J., Van de Vyver S., Carpentier K., Jacobs P.; Sels B.* // Chemical Communications. - 2011. - V. 47. – P. 5590-5592.
5. *Komanoya T. Kobayashi H., Hara K., Chun W-J., Fukuoka A.* // Applied Catalysis A: General. - 2011. – V. 407. Issues 1-2. P. 188-194.
6. *Saisu M., Sato T., Watanabe M., Adschiri T., Arai K.* // Energy & Fuels. – 2003. – V. 17. – № 4. – P. 922-928.
7. *Прокшин Г.Ф., Гусакова М.А., Афанасьев Н.И., Личутина Т.Ф., Вишнякова А.П., Фесенко А.В.* // Химия растительного сырья. – 2008. - №2. - С.5-9.
8. *Sapunov V.N., Grigoryev M. E., Sulman E. M., Konyaeva M. B., Matveeva V. G.* // Journal of Physical Chemistry A. - 2013. - V. 117. - P. 4073 - 4083.
9. *Manaenkov O.V., Matveeva V. G., Sulman E. M., Filatova A. E., Makeeva O.Yu., Kislitza O.V., Sidorov A.I., Doluda V.Yu., Sulman M.G.* // Topics in Catalysis. - 2014. - V. 57. - P. 1476 - 1482.
10. *Матвеева В.Г., Валецкий П.М., Сульман М.Г., Броништейн Л.М., Сидоров А.И., Долуда В.Ю., Гавриленко А.В., Никошвили Л.Ж., Быков А.В., М.В. Григорьев, Э.М. Сульман* // Катализ в промышленности. – 2011. - № 3. - С. 51-63.
11. *Matveeva V.G., Sulman E.M., Manaenkov. O.V., Filatova A.E., Kislitza O.V., Sidorov A.I., Doluda V.Y., Sulman M.G., Rebrov E.V.* // Catalysis Today. - 2017. – Т. 280. - P. 45-50.
12. *Шиманская Е.И., Гакипова Д.В., Еремченкова Н.Э., Никошвили Л.Ж.* – 2016. - № 12 (13)/ - С. 96-99.
13. *Овчинников Д.В., Косяков Д.С., Ульяновский Н.В.* // Аналитика и контроль. – 2014. - № 3. - Т.18. - С. 302 – 309.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ (05.02.00)

05.02.00

Аббаварам Ревант Редди, В.Г. Нестеренко канд. техн. наук

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),
кафедра 203,
Москва, revman16388@gmail.com

КОНСТРУКТИВНЫЕ МЕТОДЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КРИТИЧНЫХ УЗЛОВ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ТВД АВИАЦИОННЫХ ГТД

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-5-73-77

Представлены результаты расчётных исследований возможности повышения эффективности критичных узлов системы охлаждения турбин высокого давления (ТВД) авиационных газотурбинных двигателей (ГТД), трубчатого воздухо-воздушного теплообменника (ВВТ) и аппарата закрутки охлаждающего воздуха при его подводе на вход в рабочую лопатку ТВД.

Ключевые слова: *охлаждаемая лопатка турбины, воздухо-воздушный теплообменник, аппарат закрутки, интенсивность охлаждения, коэффициент теплопередачи, эффективность системы воздушного охлаждения.*

Повышение температуры газа на входе в ТВД, осуществляемое при переходе от одного поколения авиационных ГТД к другому, требует также одновременного роста эффективности её системы охлаждения. Для охлаждения деталей СА и РК ТВД обычно используется воздух, отбираемый за КВД. Его температура также растёт, поскольку для улучшения экономичности в двигателях новых поколений увеличивается величина степени сжатия в компрессоре.

Очевидно, что должны быть найдены дополнительные резервы по снижению температуры охлаждающего воздуха, поступающего во внутренние полости рабочей лопатки ТВД.

Объектом исследования в этой работе являются критичные узлы системы охлаждения одноступенчатой ТВД, которая показана на рисунке 1, а именно трубчатый ВВТ и аппарат закрутки, установленный около срединной части диска турбины, с его передней стороны. Для обеспечения конвективно-плёночного охлаждения рабочей лопатки ТВД на максимальном режиме работы двигателя, при H=0 и M=0, после ВВТ отбирается 4,52% охлаждающего воздуха.

На крейсерском режиме (КР) полёта ЛА это количество снижается примерно вдвое, но оно остаётся ещё значительным и равно 2,45%. Как видно из рисунка 1 на выходе из ВВТ установлен клапанный аппарат частичного отключения охлаждающего воздуха до величины 2,45%, но оно остаётся ещё значительным. Дальнейшее уменьшение отбора охлаждающего воздуха, на режиме КР, возможно, если внутреннюю полость рабочей лопатки ТВД разделить на две изолированные части вертикальной перегородкой. Кроме того, необходимо выделить в отдельные магистрали подводы охлаждающего воздуха в переднюю часть лопатки, где расположены каналы плёночного охлаждения, и её заднюю часть, выполненную с конвективным охлаждением. Эта конструкция представлена на рисунке 2.

В безлопаточном диффузоре, образованном двумя боковыми сторонами диска ТВД и короткого покрывного диска, давление охлаждающего воздуха, подводимого к лопатке, возрастает. Это полезно с точки зрения возможного увеличения расхода воздуха через рабочую лопатку ТВД, однако, следует учитывать следующее:

- первое, горячий диск подогревает охлаждающий воздух, в рассматриваемой конструкции примерно на 20 градусов;

- второе, при расположении аппарата закрутки на предельно возможном радиусе, на уровне торца замка, как это показано на рисунке 2, закрутка более эффективна, поскольку величина температуры закручиваемого воздуха уменьшается пропорционально квадрату окружной скорости того радиуса диска, где он подводится. При представленной на рисунке 2 компоновке аппарата закрутки температура охлаждающего воздуха, по сравнению с конструкцией, показанной на рисунке 1, снижается дополнительно на 30 градусов.

Таким образом, в рассмотренных выше вариантах проектирования аппарата закрутки мы суммарно имеем дополнительное снижение температуры охлаждающего воздуха, на максимальном режиме работы двигателя, порядка 50-ти градусов.

Эта величина значима, поскольку она составляет примерно половину от величины снижения температуры охлаждающего воздуха на входе и выходе из ВВТ, показанного на рисунке 1, которая по результатам испытаний равна 110 градусов.

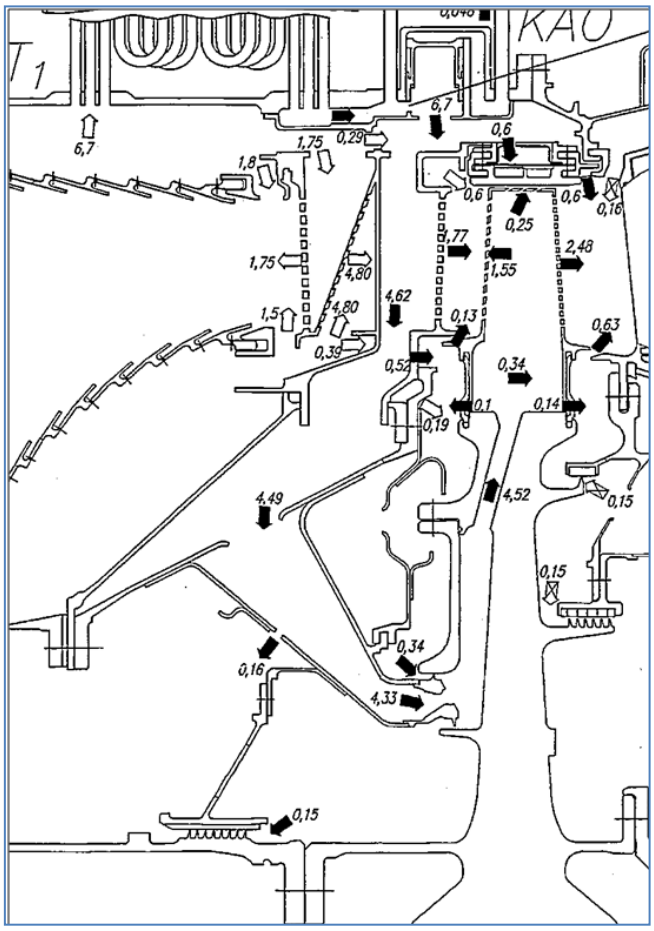


Рис. 1 - Схема системы охлаждения ТВД ТРДД с лопатками СА и РК конвективно-плёночного охлаждения и аппаратом закрутки

Укажем далее на ряд сопутствующих проблем. Недостатком схемы охлаждения ТВД, показанной на рисунке 1, является также то, что осевой зазор между СА и РК в корне рабочей лопатки не уплотнён. На крейсерском режиме работы этого ТРДДф через этот зазор, во внутреннюю воздушную полость, поступает из проточной части турбины примерно 0,3 % горячего газа. Поэтому, далее на рисунках 2а) и 2б) показаны конструктивные схемы воздушной системы с установленным в этом месте дополнительным ступенчатым лабиринтным уплотнением.

Рассматриваемый трубчатый ВВТ выполнен из тонкостенных круглых стальных трубок с наружным диаметром 5,0 мм и толщиной стенки 0,3 мм, собранных в рядный пучок, ориентированный по оси двигателя. В одном ряду располагается 18-ть шести ходовых трубок перекрёстного тока. Внутри трубок проходит охлаждаемый воздух, отбираемый за КВД, температура которого равна 774К. Охлаждающий воздух наружного контура имеет

температуру 445К. Расстояния между отдельными трубками составляет 1 мм. Каждый блок состоит из двух рядов, объединенных упругой пластиной. Этот теплообменник был исследован, потери полного давления охлаждаемого воздуха равнялись 8,5 %, а потери полного давления во внешнем контуре (это второй, наружный контур ТРДДф) равнялись 1,6%. Эффективность теплообменника невысокая:

$$\varepsilon = (\Delta T_{ВВТ}) / (\Delta T_{max\ ВВТ}) = 0{,}83 \qquad (1)$$

При проектировании предполагалось достичь эффективности теплообмена в ВВТ $\varepsilon = 0{,}705$, т.е. реализовать снижение температуры охлаждаемого воздуха на $\Delta T_{ВВТ} = 250^{\circ}$.

Предварительные расчёты показали, что для современных лопаток РК ТВД, в которых температура газа перед турбиной равна, например, 1740К и где реализована максимальная величина интенсивности конвективно-плёночного охлаждения $\theta = 0{,}54$, при температуре охлаждающего воздуха, отбираемого за КВД, равной 800К, его понижение в ВВТ должно быть равным $\Delta T_{ВВТ} = 220^{\circ}$. Как было показано ранее, при описании ВВТ, снижение температуры охлаждаемого воздуха равна $\Delta T_{ВВТ} = 110^{\circ}$.

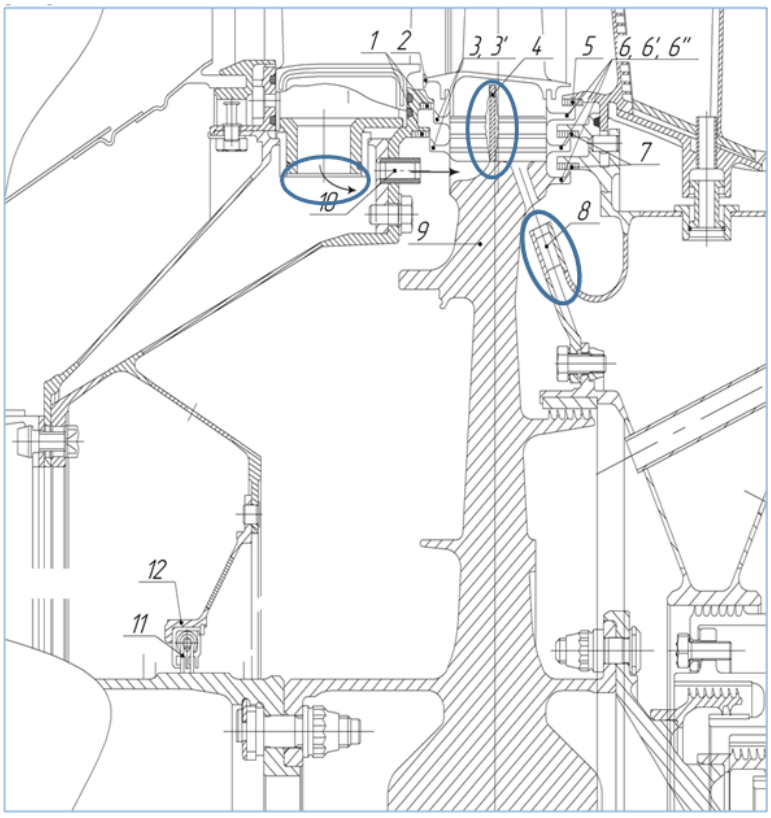


Рис. 2 – Двухсторонний подвод охлаждающего воздуха к рабочей лопатке ТВД
Здесь: 1, 2,3,3′ – гребни ступенчатого лабиринта; 4 –вертикальная перегородка внутренней полости РЛ; 5…7 – гребни ступенчатого лабиринта за диском; 9 – диск;
8,10 –аппараты закрутки охлаждающего воздуха

Для достижения поставленной цели по повышению эффективности ВВТ и определения оптимальных размеров и формы их трубок, следует рассмотреть эффективность установки микроинтенсификаторов охлаждения, «турбулизаторов» пограничного слоя. При этом в равной степени следует учитывать необходимость сохранения, а предпочтительнее, уменьшения внешнего гидравлического сопротивления модернизируемого ВВТ. В работах [1, 2] показано, что снижение диаметрального размера цилиндрических трубок в ВВТ, устанавливаемых в наружном контуре авиационных ТРДД, эффективно, как с точки зрения интенсификации теплоотдачи, так и с точки зрения снижения гидравлического сопротивления их наружного контура. Однако гидравлическое сопротивление по внутреннему контуру, в котором проходит охлаждаемый воздух, возрастает. Матрицу теплообменника целесообразно выбрать многоходовую с перекрёстной схемой движения теплоносителей, коридорного типа.

Установлено - см. [1], где в таблице 1 и на рисунке 4 показано, что самая маленькая из числа исследованных в указанной работе цилиндрических трубок ВВТ, трубка диаметром 4,0 мм, является наиболее эффективной.

Укажем также на то, что для цилиндрической трубки диаметром 5,0 мм овал, равный с ней по площади, при толщине стенки трубки 0,3 мм, имеет следующие диаметральные размеры: 6,3 · 4,0 мм.

Она также может быть рекомендована как основной вариант для установки кольцевого турбулизатора и проведения исследований по оценке её эффективности.

Различные способы интенсификации теплообмена, в трубках круглого, с кольцевой или витой накаткой, или овального профиля, закрученных в осевом направлении, ранее неоднократно описывались, результаты этих исследований известны и они опубликованы [3,4,5].

Вместе с тем, необходимо отметить, что в настоящее время отсутствуют интересующие нас результаты исследований ВВТ с малоразмерными трубками овальной формы, в которых установлены кольцевые турбулизаторы. Их применение, с целью увеличения интенсивности теплообмена в ВВТ, представляется наиболее целесообразным, поскольку в этих конструкциях возможно сочетание минимума гидравлического сопротивления, при обтекании трубок наружным воздухом, и максимума охлаждения воздуха в их внутренних каналах.

Геометрические характеристики стенки трубки с микро турбулизаторами показаны на рисунке 3.

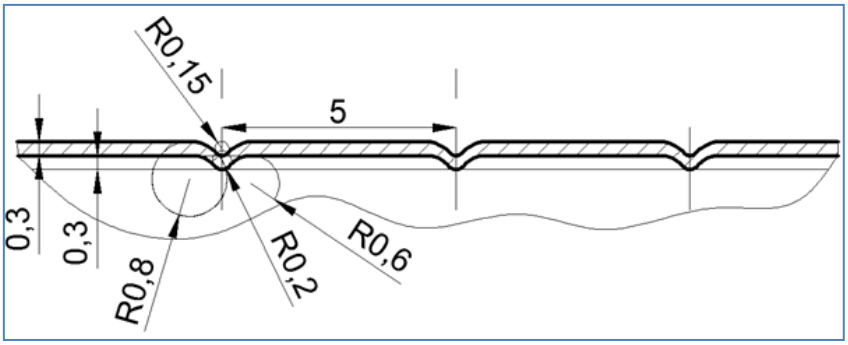


Рис.3 – Геометрические размеры стенки овальных трубок с кольцевыми микро турбулизаторами

В таблице 1 представлено изменение температуры охлаждаемого воздуха на выходе из овальных трубок различной длины и размеров поперечного сечения, полученные путём расчётов в системе ANSYS CFX 19. Длина одной трубки в реальном ВВТ 679 мм, следовательно, в таблице 1 должен рассматриваться размер трубок, с кольцевыми турбулизаторами и без них, равный 700мм.

Следует отметить, что при наклоне пучка с рядными цилиндрическими трубками, например, диаметром 5,0 мм, относительно радиального направления, равном углу в 45°, они обтекаются охлаждающим воздухом не по цилиндрической, а овальной поверхности, соотношение осей этого овала равно 7,05 · 5,0 мм. При таком проектировании гидравлическое сопротивление рядного пучка трубок уменьшается. Таким образом, можно избежать изготовления овальных трубок, вместо цилиндрических, сохранить величину их расходных характеристик и удлинить каждую трубку до поворота в колене на 40%.

Таблица 1. Сравнительная эффективность снижения температуры воздуха в овальных трубках гладких и с турбулизаторами на внутренней стенке эллипсной трубки

Длина мм	Эллипсные гладкие трубки, размеры диагоналей				Эллипсные трубки с турбулизатором, диагонали			
	7,9 · 4,6 мм		6,3 · 4,0 мм		7,9 · 4,6 мм		6,3 · 4,0 мм	
	Температуры воздуха на выходе из ВВТ							
	$T_{выход}$	ΔT	$T_{выход}$	ΔT	$T_{выход}$	ΔT	$T_{выход}$	ΔT
500	740	60	716	84	696	104	674	126
600	725	75	707	93	684	116	660	140
700	707	93	689	111	674	126	630	170
800	692	108	668	132	646	154	600	200

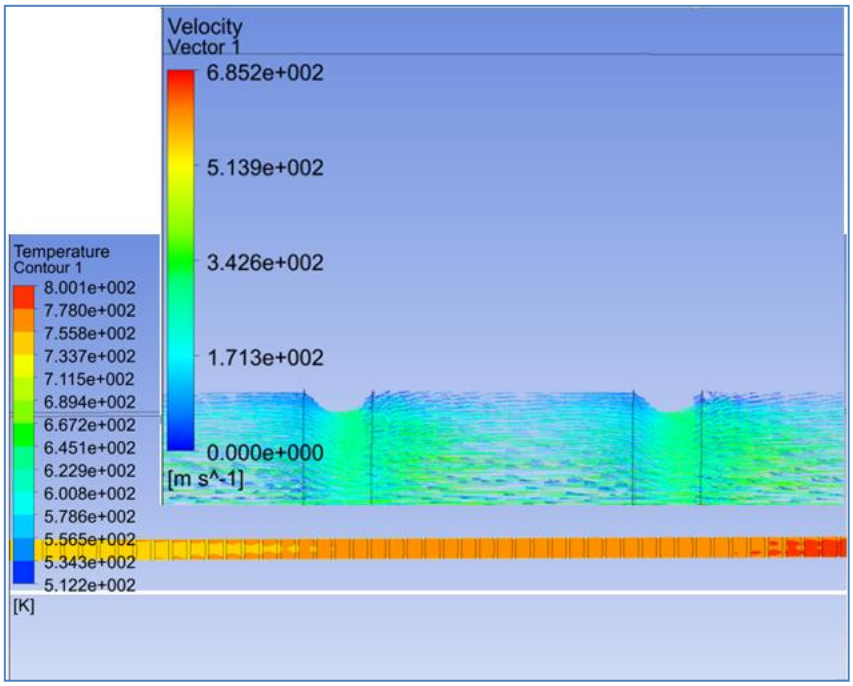


Рис. 4 – Скоростные и температурные диаграммы охлаждаемого потока воздуха, перемещающегося внутри трубок, при их перекрёстном обтекании

Анализ данных, представленных в таблице 1 и на рисунке 4, показывает, что применение овальных трубок с микротурбулезаторами целесообразно и даёт существенное повышение эффективности ВВТ.

Список литературы

1. *А. РевантРедди, В. Г. Нестеренко.* Совершенствование системы охлаждения современных высокотемпературных ТВД авиационных ГТД // Научно–технический вестник Поволжья, – 2017. – № 6. С. 75–79.

2. *Тихонов А.М., Осипов И.В.* Компактные теплообменники для систем регенерации тепла ГТД и ГТУ малой мощности. ЦИАМ 2001-2005.– М.; ЦИАМ 2005.- Том 1. С. 149 – 155.

3. *Калинин Э.К., Дрейцер Г.А., Копп И.З., Мякочин А.С.* Эффективные поверхности теплообмена. М.: Энергоатомиздат, 1998. - 408 с.

4. *Дзюбенко Б.В., Краев В.М., Мякочин А.С.* Закономерности и расчёт нестационарных турбулентных течений и тепло-массообмена в каналах энергетических установок. - М.: Изд-во МАИ-ПРИНТ, 2008.- 384 с.

5. *Лобанов И.Е., Парамонов Н.В.* Математическое моделирование массообмена при интенсифицированном теплообмене в каналах энергоустановок.- М.: Изд-во МАИ, 2017. – 160 с.

05.02.22

А.П. Буйносов д-р техн. наук, И.С. Цихалевский канд. техн. наук

Уральский государственный университет путей сообщения,
кафедра «Электрическая тяга»,
Екатеринбург, byinosov@mail.ru, ITsihalevsky@usurt.ru

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ЛОКОМОТИВОВ

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-5-78-81

В статье рассмотрены вопросы совершенствования организации системы технического обслуживания и ремонта локомотивов за счет ее постепенного изменения. Выявлены причины, способствующие отказам узлов локомотивов, определены этапы перехода на новую систему обслуживания и ремонта локомотивов.

Ключевые слова: *техника, локомотив, обслуживание, ремонт, система, организация, совершенствование.*

Локомотивный комплекс – второе по затратам (наряду с инфраструктурой) хозяйство ОАО «РЖД». Расходы на тягу поездов составляют треть всех эксплуатационных расходов холдинга. Значительная их часть – это расходы на техническое обслуживание (ТО) и текущий ремонт (ТР). С 2014 г. ТО и ТР локомотивов осуществляются в сервисных компаниях, которые получают доход от объема выполненной работы: километров пробега для магистральных и часов работы для маневровых локомотивов [1]. Экономические аспекты, изношенность большого количества тягового подвижного состава (ТПС), устаревшие производственные технологии локомотиво-ремонтного комплекса, проблемы с обеспечением материалами и комплектующими изделиями, отсутствие контроля фактического технического состояния локомотивного парка – это задачи, требующие незамедлительного решения.

Техническое обслуживание и ремонт (ТОР) локомотивов проводятся с целью обеспечения устойчивой работы локомотивов для поддержания их технического состояния. Применяемая в настоящее время схема планово-предупредительной системы ремонта показана на рис. 1.

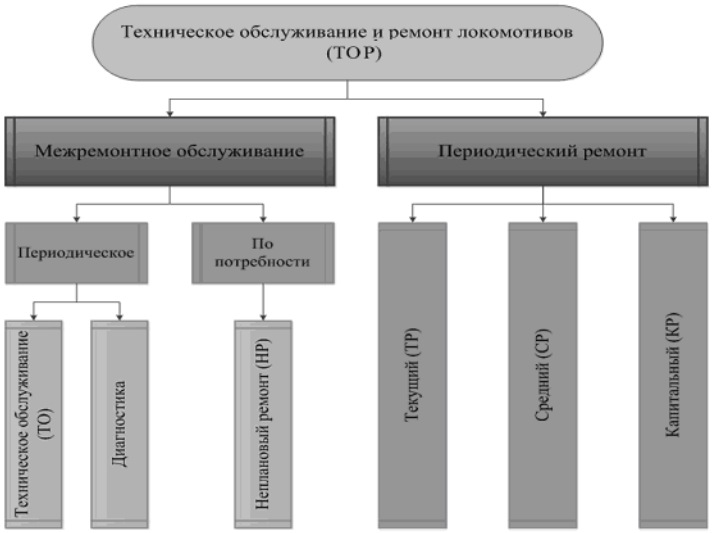


Рис. 1. Схема планово-предупредительной системы технического обслуживания и ремонта локомотивов

В соответствии с п. 2.1.3 ГОСТ 18322–2016 [2] система технического обслуживания и ремонта техники представляет собой совокупность взаимоувязанных средств, необходимой документации системы ТОР и исполнителей для поддержания и восстановления (качества либо эксплуатационных характеристик) объектов, входящих в эту систему» [3]. Действующая в настоящее время на сети железных дорог России система ТОР, базируется на разработанной в прошлом веке в локомотивном депо Рыбное системы планого-предупредительного ремонта «КС УКР» (комплексная система управления качеством ремонта) [4]. Она предусматривает следующие виды ТОР: техническое обслуживание (ТО-1, ТО-2, ТО-3, ТО-4 и ТО-5); текущие ремонты (ТР-1, ТР-2 и ТР-3); средний ремонт (СР); капитальный ремонт (КР). Существующая система ТОР является затратной, так как она выполняется вне зависимости от технического (физического) состояния узлов и агрегатов.

О том, что система «КС УКР» устарела, свидетельствует динамика изменения удельного количества неплановых ремонтов, которая является одним из показателей надежности, отражающий качество ремонта и эксплуатации локомотивов. Динамика изменения этого показателей с 2003 по 2017 гг. для всего локомотивного парка России показана на рис. 2. На рис. 3 приведены лимитирующие узлы электровозов 2ЭС6, определенные по гарантийным отказам 2017 г. на основании закона Парето [5].

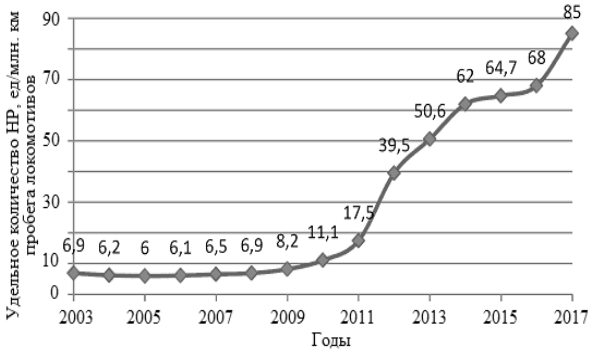


Рис. 2. Количество неплановых ремонтов локомотивов на млн. км пробега

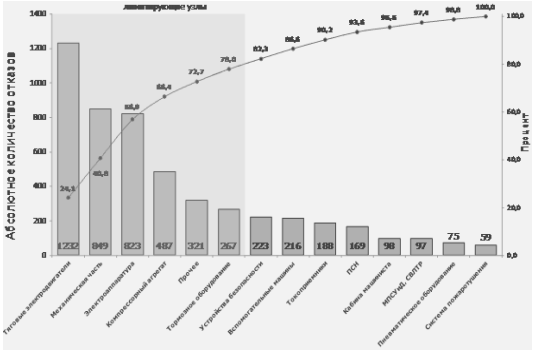


Рис. 3. Распределение отказов узлов электровозов 2ЭС6 в 2017 г.

Из рис. 2 видно, что с 2008 г. наблюдается постепенное увеличение удельного количества неплановых ремонтов. В 2017 г. этот показатель для электровозов составил 65,3 ед./ млн. км пробега, а для тепловозов – 106,9. Рост количества неплановых ремонтов ТПС свидетельствует о неудовлетворительном состоянии существующей системы ТОР локомотивов. Мероприятия, разработанные ОАО «РЖД», сервисными компаниями СТС-Сервис и ЛокоТех-Сервис для повышения надежности ТПС, в том числе – совершенствование работы в ремонтном и эксплуатационном блоков локомотивного комплекса, требуемого результата не принесли. Основные из причин – это, несомненно, устранение от участия локомотивных бригад по выходу из предаварийных ситуаций из-за нарушения технического состояния ТПС, ограниченная сохраняемость, недостаточная долговечность и низкое значение безотказности новых локомотивов из-за их увеличенной сложности и различных конструкторских недоработок, технологическая недооснащенность ремонтного блока, снижение уровня мастерства управленческого и персонала по обслуживанию и ремонту.

В 80 % область отказов всего парка электровозов 2ЭС6 (рис. 3) вошли следующие узлы: тяговые электродвигатели ЭДП-810, СТК-810, ДПТ-810, ЭК-810Ч; механическая часть; электроаппаратура; компрессорные агрегаты ДЭН-30МО, ВВ-3,5/10, АКВ-3,5/1; прочие отказы и тормозное оборудование. Такое большое количество лимитирующих узлов свидетельсвует о необходимости изменения «КС УКР».

Кроме того, еще одним показателем, оценивающим качество работы системы ТОР, является деповской процент неисправных локомотивов ($X_{деп}$) – основной показатель, характеризующий состояние парка ТПС, включает все виды ремонтов и технических обслуживаний за исключением капитальных ремонтов. Он определяется по формуле:

$$X_{\text{деп}} = \frac{P_{\text{деп}}}{P_{\text{э}} + P_{\text{рез}} + P_{\text{рем}}} \cdot 100 \ \ \%, \qquad (1)$$

где $P_{\text{деп}}$ – количество локомотиво-суток ремонтов и технических обслуживаний ТПС за исключением капитальных ремонтов, которые производятся на ремонтных заводах; $P_{\text{э}}$ – эксплуатационный парк ТПС, в локомотиво-сутках; $P_{\text{рез}}$ – количество локомотиво-суток в резерве железной дороги; $P_{\text{рем}}$ – количество локомотиво-суток во всех видах технических обслуживаниях, текущих, средних, капитальных ремонтов, в том числе и неплановых.

Количество локомотиво-суток ($P_{\text{деп}}$) определяется как:

$$P_{\text{деп}} = N_{\text{ТР–3}} \cdot t_{\text{ТР–3}} + N_{\text{ТР–2}} \cdot t_{\text{ТР–2}} + N_{\text{ТР–1}} \cdot t_{\text{ТР–1}} + N_{\text{ТО–3}} \cdot t_{\text{ТО–3}} + N_{\text{ТО–4}} \cdot t_{\text{ТО–4}} + N_{\text{ТО–5}} \cdot t_{\text{ТО–5}} + N_{\text{НР}} \cdot t_{\text{НР}}, \qquad (2)$$

где $N_{\text{ТР-3}}$, $N_{\text{ТО-3}}$, …, $N_{\text{НР}}$ – годовое количество ремонтов и технических обслуживаний ТПС депо; $t_{\text{ТР-3}}$, $t_{\text{ТО-3}}$, …, $t_{\text{НР}}$ – соответственно, простой в ремонтах и технических обслуживаниях ТПС, сут.

Из-за увеличивающегося количества неплановых ремонтов (см. рис. 2) процент неисправных локомотивов ($X_{\text{деп}}$) начиная с 2008 г. увеличивается и в 2017 г. достиг абсолютного рекорда. Поэтому совершенствование организации системы ТОР локомотивов является основным инструментом обеспечения эффективности и конкурентоспособности железнодорожного транспорта [6].

В п. 2.3.13 ГОСТ 18322–2016 [2] отмечается, что ремонт по техническому состоянию – это ремонт, при котором требуемый контроль технического состояния выполняется с необходимым периодом, установленным в документации, а объем и момент начало ремонта определяется техническим состоянием объекта. Ремонты по техническому состоянию могут быть плановыми и неплановыми». Для перехода на этот вид ремонта, который иногда называется, ремонт по потребности, требуется: 1) непосредственно на локомотиве иметь средства технического контроля и бортовой диагностики для соответствующих узлов ТПС (особенно во время движения): соответствующую документацию и программный продукт для обработки полученной информации контроля и диагностики.

Для получения наибольшего эффекта при переходе на ремонт ТПС по потребности, предлагается на первом этапе определить лимитирующие узлы, надежность которых оставляет желать лучшего, требующих затрат на сервисное обслуживание (см. рис. 3). После этого, с учетом имеющихся средств технического контроля и бортовой диагностики (разработки при необходимости новых), провести необходимые эксперименты для выявления перечня минимально необходимых контролируемых параметров и периодичности их измерения для выбранных узлов в процессе эксплуатации ТПС. На этом основании разработать соответствующую документацию.

Необходимо отметить, что переход на ремонт по техническому состоянию мгновенно невозможен, ввиду большого количества узлов особенно ТПС нового поколения, серий локомотивов, участков их работы. Переход на ремонт локомотивов по потребности необходимо выполнить постепенно (в течение двух–трех лет), решая проблемы по лимитирующим узлам. Средства, полученные от повышения долговечности одного из лимитирующих узлов направляются на проведение работ по переходу на ремонт по потребности следующего лимитирующего узла.

Переходной вид ремонта предлагается – «КАНАРСПИ» (качество, надежность, ресурс с первого изделия). Это даст возможность перейти на ремонт по потребности с наибольшим эффектом и наименьшими издержками. Иные решения по совершенствованию организации технического обслуживания и ремонта ТПС при существующем состоянии системы ТОР локомотивов, будут иметь незначительные эффекты. Новая организация системы ТОР на базе современных информационных технологий – одна из ключевых задач, стоящих перед отечественной экономикой (Государственная программа «Информационное общество (2011–2020 гг.)».

Список литературы

1. *Буйносов А.П., Цихалевский И.С.* Повышение уровня организация технологического процесса текущих ремонтов электровозов // Научно-технический вестник Поволжья. 2018. № 4. С. 33-35.
2. ГОСТ 18322–2016. Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения. М: СтандартИнформ, 2017. 18 с.
3. *Головатый А.Т., Исаев И.П., Горский А.В., Буйносов А.П.* Система ремонта локомотивов на конкретных участках обращения // Железнодорожный транспорт. 1992. № 7. С. 40-44.
4. *Стрельников В.Т., Исаев И.П.* Комплексное управление качеством технического обслуживания и ремонта электровозов. М.: Транспорт, 1980. 207 с.
5. *Буйносов А.П., Мишин Я.А.* Анализ причин отказов узлов электровозов на основе закона Парето и диаграммы Исикавы // Вестник транспорта Поволжья. 2013. № 3. С. 35-39.
6. *Буйносов А.П., Пышный И.М., Тихонов В.А.* Ремонт локомотивов без прекращения их эксплуатации // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2012. Т. 60. № 1. С. 85-91.

05.02.07

А.А. Владимиров, А.П. Сергиев д-р техн. наук, А.В. Макаров канд. техн. наук

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал)
Национального исследовательского технологического университета «МИСиС»,
факультет металлургических и машиностроительных технологий,
кафедра технологии и оборудования в металлургии и машиностроении им. В.Б. Крахта,
Старый Оскол, aleksandrvodila@yandex.ru, tomm_sti_misis@mail.ru, makarov.av@mail.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВИБРАЦИОННОГО ТОЧЕНИЯ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ DEFORM

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-5-82-85

В работе приведены результаты моделирования процесса вибрационного точения. Описано распределение температур в зоне резания и на поверхности режущего инструмента. Представлены графики распределения напряжений в зоне резания.

Ключевые слова: *вибрационное точение, метод конечных элементов, амплитуда колебаний, частота колебаний, температура.*

Вибрационное точение является одним из эффективных методов обработки заготовок из труднообрабатываемых материалов для изготовления деталей горного и металлургического оборудования. Правильный выбор режимов вибрационного точения способствует увеличению стойкости режущего инструмента и обеспечению надежного дробления стружки. При обработке материалов точением с применением вибраций режущего инструмента, в зоне резания возникают процессы, отличные от процессов, протекающих при обычном точении.

Для исследования влияния параметров вибрационного резания на поля температур и напряженно-деформированное состояние инструмента и заготовки было принято решение о моделировании процесса методом конечных элементов с помощью программного комплекса DEFORM.

Было смоделировано два режима резания, которые соответствовали проведенным экспериментам [1, 2]:

- точение: υ = 88 м/мин, t = 0,5 мм, S_o = 0,26 мм/об;
- вибрационное точение: υ = 88 м/мин, t = 0,5 мм, S_o = 0,26 мм/об, амплитуда колебаний A = 100 мкм, частота колебаний f = 50 Гц.

В качестве материала заготовки была выбрана сталь марки AISI-321 (стандарт США), которая является аналогом стали марки 12Х18Н10Т по ГОСТ 5632-2014. Материалом инструмента являлся твердый сплав WC (карбид вольфрама). Заготовке задавались пластичные свойства – твердость по Бринеллю 170 НВ, а инструмент являлся «абсолютно» жестким. Исходная температура заготовки и инструмента составляла 20 °С [3, 4].

Из результатов расчета процесса резания было установлено, что максимальное значение шкалы температуры присуще процессу вибрационного точения, где T = 356 °С, в отличие от точения без колебаний инструмента, где T = 313 °С. При этом характер распределения тепла в зоне резания различен. Например, для точения без колебаний температура тела стружки находилась в диапазоне от 200 до 240 °С, а при вибрационном точении – в диапазоне от 190 до 230 °С, при этом зона контакта стружки с поверхностью режущего инструмента имела температуру от 230 до 270 °С. Значение глубины проникновения тепла в тело режущего инструмента значительных отличий не имеет, что подтверждается измерениями по передней и задней поверхностям инструмента (рисунок 1 и 2).

Стоит отметить, что при точении без колебаний вершина режущего инструмента имеет три зоны нагрева, общая температура которых находится в диапазоне от 56 до 166 °С. При виброточении вершина инструмента имеет две зоны нагрева, а температура находится в

диапазоне от 62 до 146 °С. Это явление объясняется прерыванием постоянного контакта обрабатываемого материала с материалом режущего инструмента. Тем самым, снижение температуры на вершине режущего инструмента позволит увеличить его период стойкости.

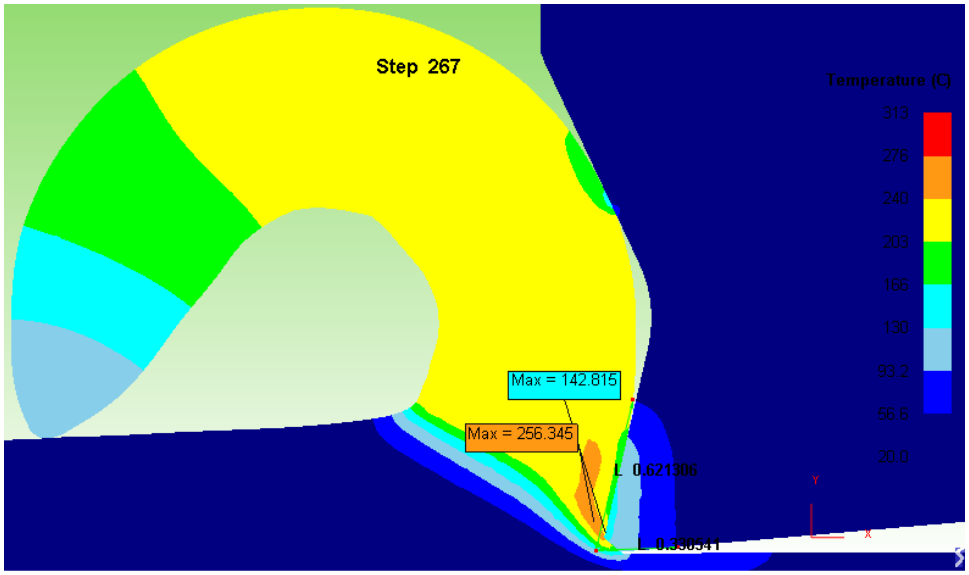


Рис. 1 – Температура в зоне резания при точении

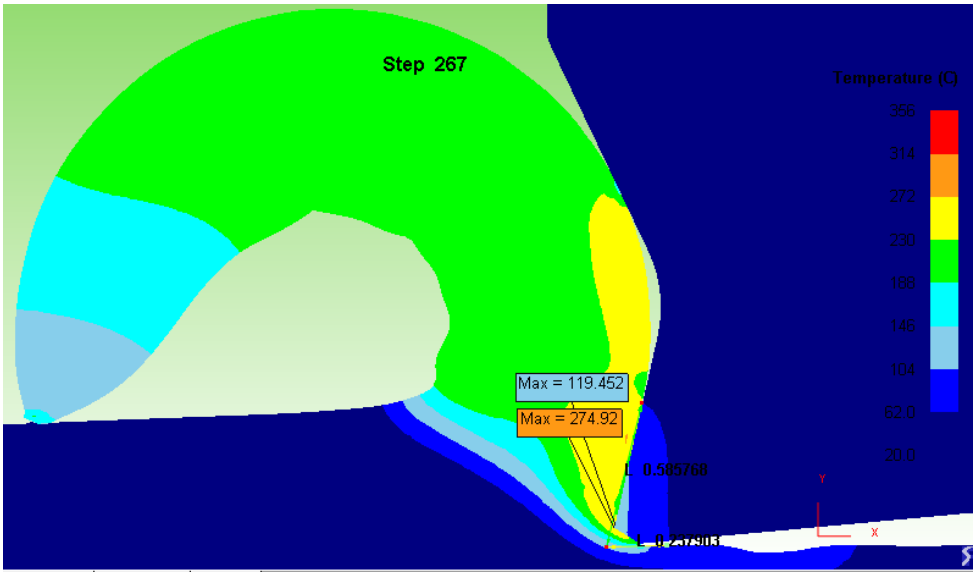


Рис. 2 – Температура в зоне резания при виброточении

Анализируя полученные расчетные значения температуры в зоне резания и на внутренней поверхности стружки, правомерно сформулировать вывод об оплавлении кромок стружки [5]. При точении постоянный контакт режущего инструмента с обрабатываемым материалом заготовки обуславливает постоянную высокую температуру в теле стружки (рисунок 1), что обеспечивает ее пластичность и сливной тип. При вибрационном точении происходит прерывание постоянного контакта резца с заготовкой, это обеспечивает снижение температуры в теле стружки, уменьшение ее пластичности и изменение типа.

Таким образом, результаты моделирования процесса резания подтверждают, что применение вибрационного точения позволяет снизить температуру на вершине режущего инструмента, а интенсивность снижения температуры зависит от амплитудно-частотных характеристик вибрационного точения, при которых амплитуда колебаний должна находиться в пределах A = 80…120 мкм, а частота колебаний режущего инструмента, в зависимости от числа оборотов заготовки, должна быть больше и находиться в соотношении не менее чем 5:1.

Дальнейшим шагом по исследованию полученных результатов, было определение напряжений и сил в зоне резания, значения которых представлены на рисунках 3 и 4.

Анализ представленных графических зависимостей показал, что напряжения, возникающие в зоне резания имеют большее значение при виброточении. При этом стоит отметить, что максимальное значение напряжений сосредотачивается у вершины режущего инструмента. Величины напряжений, направленных перпендикулярно к режущей поверхности инструмента и проходящие через срезаемый слой материала, имеют большие значения при точении, и находятся в диапазоне от 650 до 760 МПа, при виброточении от 590 до 710 МПа.

Такое явление также обуславливается прерыванием, за счет применения вибрационного точения, контактного взаимодействия инструмента и заготовки, что в свою очередь подтверждается графическими зависимостями силы резания от времени, где также максимальное значение силы присуще точению без наложения колебаний.

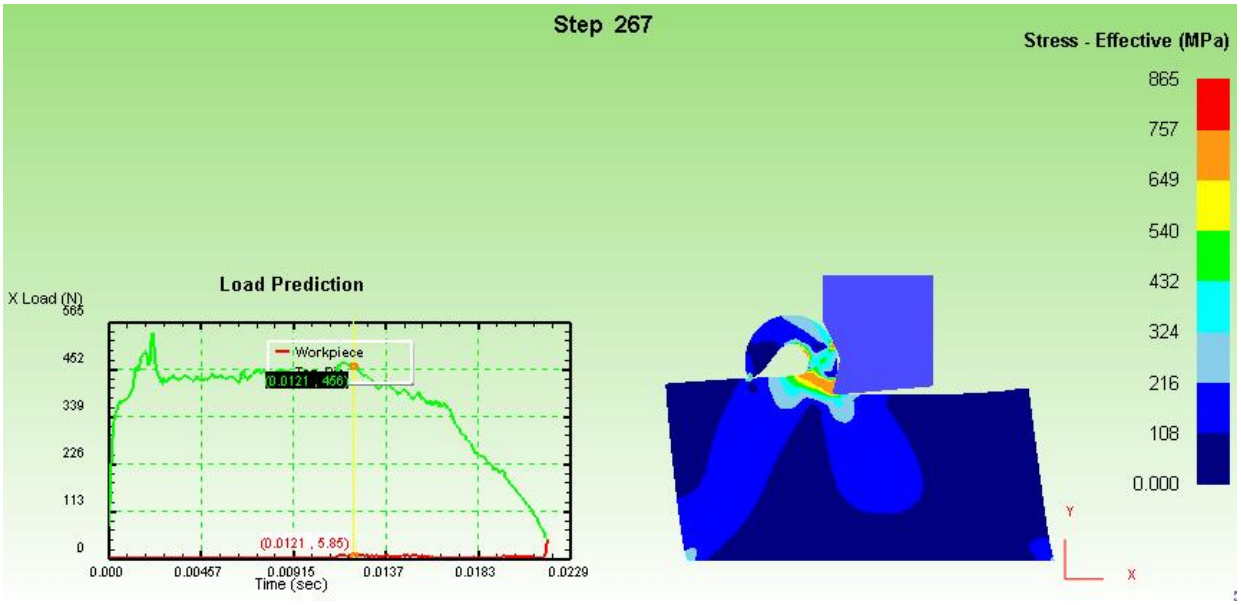


Рис. 3 – Напряжения в зоне резания по направлению главного движения при точении

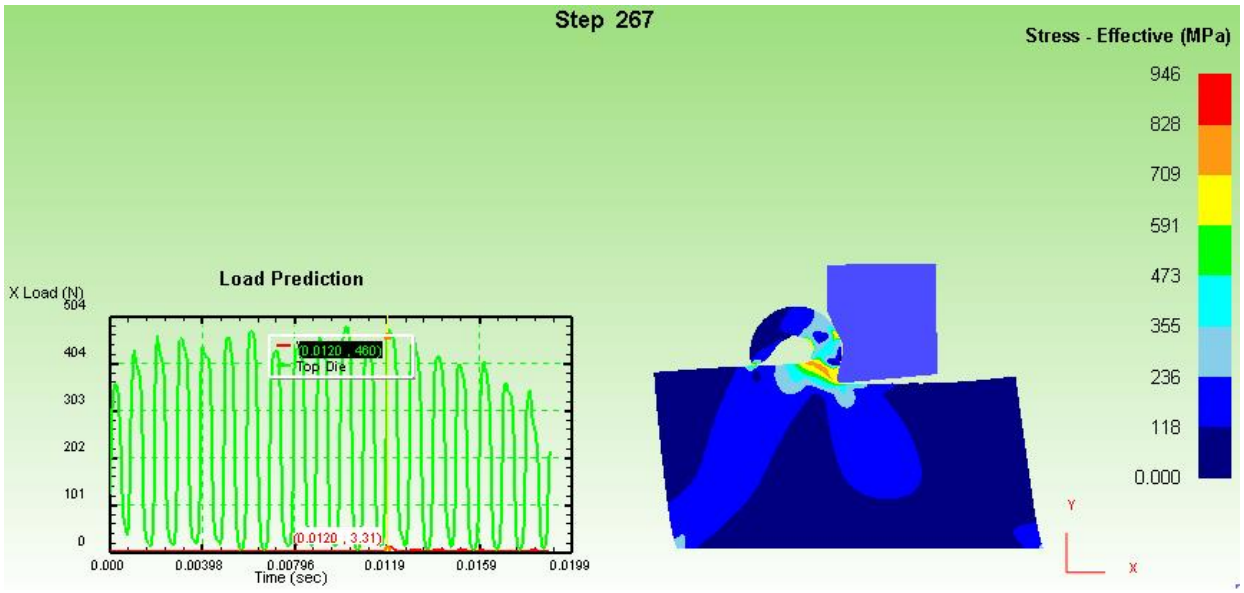


Рис. 4 – Напряжения в зоне резания по направлению главного движения при виброточении

Таким образом, исходя из результатов моделирования, стоит отметить, что для снижения сил резания и увеличения внутренних напряжений в заготовке при виброточении, необходимо соблюдение соотношения амплитудно-частотных характеристик, при котором амплитуда колебаний должна составлять A = 100…200 мкм, а частота f = 40…60 Гц, при условии соблюдения соотношения частот вращения заготовки и колебаний режущего инструмента минимум 1:5.

Обобщая результаты моделирования процессов резания при точении и виброточении, можно сформулировать следующие выводы:

– результаты моделирования процесса виброточения позволили подтвердить изменение силы резания и степени деформации срезаемого слоя, от динамического воздействия вершины резца с обрабатываемым материалом, по периодическому закону [5];

– периодическое вибрационное воздействие позволяет создавать условия для исчерпания запаса пластичности обрабатываемого материала, что подтверждается результатами моделирования напряжений в прирезцовой зоне срезаемого слоя материала [5];

– периодическое вибрационное воздействие изменяет механизм износа и уменьшает его интенсивность за счет прерывания процесса взаимодействия диффузионно-вязкого слоя с материалом инструмента, повышает период стойкости инструмента, что подтверждается расчетами температуры в зоне резания и контактируемой с заготовкой части режущего инструмента [5].

Список литературы

1. *Sergiev A.P., Vladimirov A.A., Shvachkin E.G.* Optimization of Vibrational Cutting // Russian Engineering Research, 2017, Vol. 37, No. 6, pp. 505 – 508.

2. *Сергиев А.П., Владимиров А.А., Макаров А.В., Швачкин Е.Г.* Особенности стружкообразования при чистовом вибрационном точении стали 12Х18Н10Т // Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Наука и производство: Сб. ст. по материалам XIII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, (Старый Оскол, 23-25 ноя. 2016 г.), Старый Оскол: Изд-во СТИ НИТУ МИСиС, 2016. Т.1. С. 285 – 288.

3. *Криворучко Д.В.* Основи 3D-моделювання процесів механічної обробки методом скінченних елементів: навчальний посібник / *Д.В. Криворучко, В.О. Залога, В.Г. Корбач.- Суми*: Вид-во СумДУ, 2009. – 208 с.

4. *Корендясев Г.К.* О конечно-элементном моделировании процесса обработки металлов резанием (часть 2) // Вестник научно-технического развития. 2015. № 3 (91). С. 14 – 24.

5. *Сергиев А.П., Владимиров А.А., Макаров А.В., Швачкин Е.Г.* Физические основы процесса вибрационного резания при точении // Научно-теоретический журнал Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2017. №3. С. 94 – 102.

05.02.11

И.А. Корин

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь, korinvanj@mail.ru

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В КАНАЛЕ С ОБРАЗЦОМ РЕЗОНАНСНОЙ ЗПК

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-5-86-89

Представлены результаты численного моделирования распространения звука в канале с установленным в нем однослойным образцом резонансной звукопоглощающей конструкции. Расчеты проведены на основе трех разных математических моделей: уравнения Гельмгольца; линеаризованных уравнений Навье-Стокса; совместного использования волнового уравнения и полных уравнений Навье-Стокса. Выполнена оценка точности численного моделирования путем сравнения результатов с экспериментом.

Ключевые слова: *резонансная звукопоглощающая конструкция, интерферометр, численное моделирование.*

Для подавления шума, генерируемого различными энергоустановками, промышленными и транспортными объектами большое распространение получили локально реагирующие звукопоглощающие конструкции (ЗПК) резонансного типа. Акустические свойства таких конструкций однозначно описываются величиной импеданса.

Важным этапом в разработке ЗПК является проведение испытаний образцов ЗПК на интерферометрах с нормальным и касательным падением волн [1-4], где происходит проверка на соответствие импеданса образца ЗПК проектировочному значению. В случае несоответствия импеданса требуемому необходимо подбирать новую геометрию ЗПК, изготавливать и испытывать новые образцы. Наличие численной модели, адекватно описывающей акустические процессы в канале с образцом ЗПК, позволит провести виртуальные испытания различных образцов и определить геометрические характеристики ЗПК, которые обеспечат требуемый импеданс. В перспективе данный подход поможет снизить временные и финансовые затраты на разработку ЗПК.

Для верификации результатов численного моделирования использовались данные испытаний образца ЗПК на установке «Канал с потоком» в Центре акустических исследований ПНИПУ [4]. Испытания проводились при отсутствии потока в частотном диапазоне 500-3150 Гц при уровне акустического давления 135 дБ. В качестве сигнала использовался чистый тон. Звуковое давление записывалось с помощью 23 микрофонов Bruel&Kjaer, тип 4944, установленных заподлицо в жесткой стенке вдоль канала. Образец ЗПК представлял собой однослойную конструкцию, напечатанную на 3D-принтере [4].

Стоит отметить, что на затухание звука в канале с ЗПК влияет много факторов [1, 5] и попытка учесть их все сделает модель тяжеловесной и существенно увеличит время вычислений даже при использовании кластерных систем для проведения численного моделирования. Поэтому на данном этапе исследований ставилась задача оценить возможности использования относительно простых математических моделей в описании распространения звука в канале с образцом ЗПК. При этом образец ЗПК описывался реальной геометрией.

Первая из таких моделей (далее Модель 1) была основана на уравнении Гельмгольца:

$$\Delta p + k^2 p = 0 ,$$

где p – акустическое давление; $k=2\pi f/c$ – пространственное волновое число; f – линейная частота; c – скорость звука в среде.

Затем была предпринята попытка учесть тепловые и вязкостные эффекты, которые оказывают влияние на затухание звука, для чего было проведено численное моделирование на основе линеаризованных уравнений Навье-Стокса (далее Модель 2):

$$i\omega\rho + \rho_0(\nabla\cdot\mathbf{U}) = 0,$$
$$i\omega\rho_0\mathbf{U} = \nabla\cdot\left(-p\mathbf{I} + \mu\left(\nabla\mathbf{U} + (\nabla\mathbf{U})^T\right) - \left(\frac{2\mu}{3} - \mu_B\right)(\nabla\cdot\mathbf{U})\mathbf{I}\right),$$
$$i\omega\rho_0 C_p T = -\nabla\cdot(-k\nabla T) + i\omega p\alpha_0 T_0,$$
$$\rho = \rho_0(\beta_T p - \alpha_0 T_0),$$

где i – мнимая единица; $\omega=2\pi f$ – круговая частота; ρ, ρ_0 – акустическая и стационарная плотность среды соответственно; $\mathbf{U}$ – вектор колебательной скорости; $\mathbf{I}$ – единичная матрица; T, T_0 – акустическая и стационарная температура среды соответственно; μ – коэффициент динамической вязкости; p_B – коэффициент объемной вязкости, который принимался равным нулю; C_p – удельная теплоемкость среды при постоянном давлении; k – коэффициент теплопроводности; α – коэффициент теплового расширения; β_T – коэффициент сжимаемости.

При высоких уровнях акустического давления скорости течения среды в горле резонатора становятся большими, что приводит к срыву потока на кромках горла и вихреобразованию. Таким образом, акустическая энергия переходит в энергию вихрей, которые постепенно затухают. В результате основным механизмом снижения звука становится диссипация акустической энергии в вихревых структурах. Для моделирования данных эффектов необходимо использовать полные уравнения Навье-Стокса, что занимает значительную часть вычислительного времени. Однако для снижения данных затрат можно применить полные уравнения Навье-Стокса только в области отверстий перфорации и примыкающих к ним зонам со стороны канала и со стороны резонаторов, а бо́льшую часть геометрии канала и резонаторов, где отсутствуют вихревые течения, промоделировать волновым уравнением (далее Модель 3):

$$\frac{1}{c_0^2}\frac{\partial^2 p}{\partial t^2} - \Delta p = 0 \cdot$$

В качестве граничных условий на входе в канал всегда задавалась плоская волна с уровнем 135 дБ, что соответствовало проведенному натурному эксперименту. Для Модели 1 и 2 были проведены расчеты с разными условиями на выходе из канала:

- акустическое давление, постоянное поперек канала, взятое из эксперимента, далее ГУ 1;
- импеданс сечения, определенный на основе экспериментальных данных методом двух микрофонов [6], далее ГУ 2;
- импеданс воздушной среды $\rho_0 c_0$, далее ГУ 3.

Для Модели 3 на выходе из канала использовалось ГУ 3. На всех остальных границах для всех моделей было задано условие жесткой стенки $\frac{\partial p}{\partial \mathbf{n}} = 0$.

Для решения математических моделей использовался метод конечных элементов. Сетка выбиралась так, чтобы на длину волны для верхней предельной частоты приходилось не менее 50 узлов. Во всех расчетах проводилось исследование конечно-элементной сетки на сходимость путем удвоения числа элементов. При решении полных уравнений Навье-Стокса использовалась регулярная сетка с размером элемента 0.05 мм, модели турбулентности не использовались.

Модели 1 и 2 решались в частотной области в трехмерной постановке, Модель 3 решалась во временной области в двухмерной постановке. Результаты расчетов для Модели 1 и 2 снимались вдоль центральной линии, расположенной на противоположной к образцу ЗПК жесткой стенке канала. Результаты для Модели 3 записывались в точках, где в натурном эксперименте располагались микрофоны. Запись велась для 10 периодов колебаний после того как процесс установился. Далее результаты для каждой точки переводились в частотную область с помощью преобразования Фурье.

На рисунке 1 представлены результаты численного моделирования для всех моделей с граничными условиями, при которых достигнуто наилучшее приближение к результатам эксперимента.

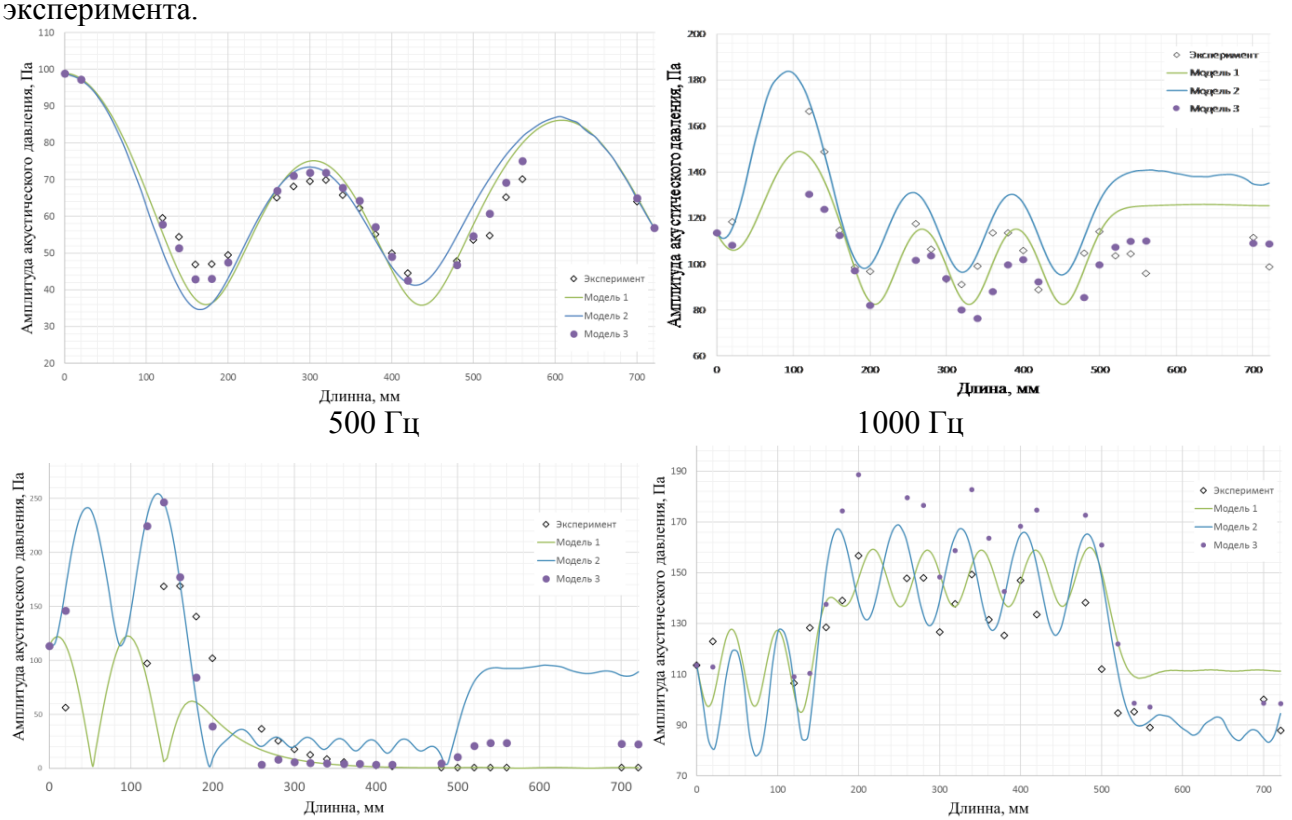


Рис. 1 – Сравнение результатов численного моделирования и эксперимента

Можно видеть, что на низких частотах (500 Гц) все три модели хорошо описывают изменение акустического давления вдоль канала. С увеличением частоты количественное расхождение результатов расчета с экспериментом увеличивается, однако качественное поведение изменения акустического давления по каналу схоже с экспериментом: протяженности зон нарастания или спада давления совпадают. В большинстве случаев Модель 3, наиболее подробно описывающая процессы в канале и резонаторах ЗПК, показала лучшее приближение к результатам эксперимента.

Таким образом, можно заключить, что предложенный подход уже сейчас может использоваться на этапе проектирования ЗПК для сопоставления между собой вариантов разрабатываемой конструкции по эффективности снижения акустического давления вдоль канала. Для правильного определения импеданса ЗПК по результатам распределения акустического давления вдоль канала требуется повышение точности численного моделирования, для чего необходим в первую очередь переход к трехмерной постановке решения Модели 3, что связанно с существенным возрастанием времени вычислений. Кроме того, для расчета ЗПК, которые планируется применять в каналах энергоустановок летательных аппаратов, необходим учет в модели воздушного потока в канале.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Правительства РФ по постановлению № 220, договор № 14.Z50.31.0032.

Список литературы

1. *Ипатов М.С., Остроумов М.Н., Соболев А.Ф.* Влияние спектра высокоинтенсивного источника звука на звукопоглощающие свойства облицовок резонансного типа // Акустический журнал. – 2012. Т. 58, № 4. – С. 465-472.

2. *Федотов Е.С., Кустов О.Ю., Храмцов И.В., Пальчиковский В.В.* Сравнительный анализ акустических интерферометров на основе расчетно-экспериментальных исследований образцов звукопоглощающих конструкций // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Аэрокосмическая техника. – 2017. – № 48. – С. 89-103.

3. *Watson W.R., Jones M.G.* A comparative study of four impedance eduction methodologies using several test liners // AIAA Paper, 2013, No. 2274.

4. *Соболев А.Ф., Остриков Н.Н., Аношкин А.Н., Пальчиковский В.В., Бурдаков Р.В., Ипатов М.С., Остроумов М.Н., Яковец М.А.* Сравнение импеданса звукопоглощающей конструкции, полученного по результатам измерений на двух различных установках с использованием малого числа микрофонов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Аэрокосмическая техника. – 2016. – № 45. – С. 89-113.

5. *Соболев А.Ф.* Полуэмпирическая теория однослойных сотовых звукопоглощающих конструкций с лицевой перфорированной панелью // Акустический журнал. – 2007. – Том 53, № 6. – С. 861-872.

6. *Chung J.Y., Blaser D.A.* Transfer function method of measuring in-duct acoustic properties. I. Theory. II. Experiment. Journal of the Acoustical Society of America, 1980, vol. 68, no. 3, pp. 907-921.

05.02.02

Я.А. Мишин, А.П. Буйносов д-р техн. наук

Уральский государственный университет путей сообщения,
кафедра «Электрическая тяга»,
Екатеринбург, yaroslav_mishin@mail.ru, byinosov@mail.ru

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ НАЛИЧИЯ УНИПОЛЯРНОЙ ИНДУКЦИИ В ТЯГОВОМ ДВИГАТЕЛЕ ЭЛЕКТРОВОЗА ПОСТОЯННОГО ТОКА

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-5-90-92

В статье проведен анализ магнитной цепи тягового двигателя электровоза постоянного тока. С использованием программы конечно-элементного анализа получены распределения напряженности магнитного поля и магнитной индукции от одной секции обмотки якоря, что позволило сделать вывод об отсутствии униполярной индукции в тяговом двигателе.

Ключевые слова: *электровоз, постоянный ток, тяговый двигатель, униполярность, индукция, наличие, исследование, результаты.*

В современных условиях к тяговому подвижному составу предъявляются повышенные требования не только к уровню надежности, но и к величине эксплуатационных расходов в течение всего срока эксплуатации.

Основные эксплуатационные расходы электровозов приходятся на восстановление и замену изношенного оборудования, при техническом обслуживании и плановом ремонте.

Результаты осмотров и ревизий подшипников тяговых двигателей, проводимых слесарями ремонтниками, показывают, что наибольшее количество дефектов приходятся на электроожоги поверхности роликов. [1, 2]. Проведенные исследования в работе [2], показывают, что одной из причин появления электроожогов является возникновение аварийного режима работы тягового двигателя.

Другой причиной повреждения подшипников электрическим током, может быть связано с продольным намагничиванием вала, за счет наведения постоянных или переменных электродвижущих сил (ЭДС) машины.

Для электрических машин постоянного тока характерны постоянные ЭДС, возникающие из-за неправильно соединения обмоток, образующих виток вокруг вала. Магнитодвижущая сила этого витка вызывает продольное намагничивание вала, и при его вращении в собственном магнитном поле в нем возникает явление униполярной индукции. В правильно сконструированных машинах обращается внимание на то, чтобы соединения обмоток последовательной цепи представляли по отношению к валу практически бифиляр. При таком соединение обмоток происходит взаимонейтрализация магнитных полей [3].

Однако отмечают [3], что полностью устранить явление униполярной индукции не удается, но индуктированные ЭДС сводят до безопасных до безопасных значений. На электровозах постоянного тока серии ВЛ11К устанавливают тяговые двигатели ТЛ-2К1 с последовательным возбуждением. В своей конструкции имеет шесть полюсов с монтированными в них компенсационными обмотками.

Анализируя схему соединения обмоток двигателя, можно сделать вывод, что машина является симметричной. Поэтому магнитный поток, от каждого полюса, относительно осевой линии, будет делиться пополам, образовывая два одинаковых магнитных контура. Тогда очевидно, что магнитное поле создаваемое парой полюсов будет компенсировать магнитным полем другой пары полюсов. Таким образом, ЭДС в вале от основного поля наводиться не будет.

С другой стороны ЭДС в валу машины может возникнуть от магнитного поля создаваемого обмоткой якоря. Согласно теореме о циркуляции напряженности магнитного поля, то напряженность поля определяется количеством проводников и величиной токов протекающих в них [4].

В сердечнике якоря имеется 75 пазов в каждом пазу уложено начало одной секции и конец другой, секции уложены с шагом по пазам 13. Таким образом, если под северным полюсом ток в секции течет в направлении от нас, то под южным будет течь к нам. Поэтому для наглядно представления напряженности магнитного поля в якоре двигателя достаточно рассмотреть только одну секцию обмотки якоря.

Исследование магнитного поля в якоре тягового двигателя от одной секции обмотки якоря проводилось методом конечных элементов. При исследовании пользовались следующей системой уравнений:

$$\begin{cases} \vec{J} = \mathrm{rot}\,\vec{H}; \\ \vec{B} = \mathrm{rot}\,\vec{A}; \\ \vec{J} = \sigma \cdot \vec{E}, \end{cases}$$

где $\vec{J}$ – вектор плотности электрического тока, А/м^2; $\vec{H}$ – вектор напряженности магнитного поля, А/м; $\vec{B}$ – вектор магнитной индукции, Тл; $\vec{A}$ – магнитный векторный потенциал, Вб/м; $\vec{E}$ – вектор напряженности электрического поля, В/м; σ – удельная проводимость, См/м.

Создавалась твердотельная модель якоря тягового двигателя с одним проводником обмотки в сердечники якоря. Модель импортировалась в программу конечно-элементного анализа. Для корректного расчета модель *1* помещалась в воздушную область *2*, а начало и конец проводника *3* замыкалось через магнитную изоляцию на внешней границы расчетной области *4* (рис. 1). Далее твердотельная модель разбивалась на конечные элементы в форме тетраэдров. Максимальный размер элементов равен 0,045 м, а минимальный 0,0033 м. Величина тока, протекающего в секции, принималась равной 80 А, что соответствует часовому режиму работы тягового двигателя.

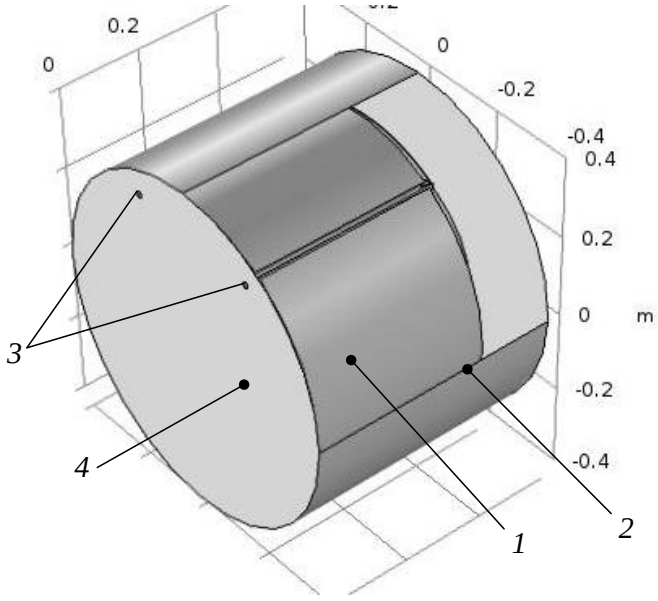


Рис. 1. Расчетная модель якоря тягового двигателя:
1 – твердотельная модель якоря двигателя; *2* – воздушная область
3 – секция обмотки якоря; *4* – магнитная изоляция на внешней границе.

В результате моделирования получены график распределения напряженности магнитного поля и магнитной индукции от одной секции обмотки якоря (рис. 2 и 3).

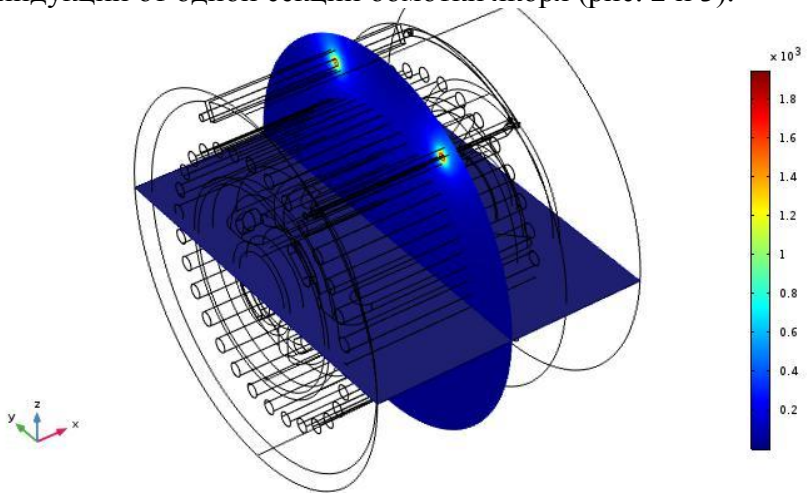


Рис. 2. Напряженность магнитного поля от одной секции обмотки якоря, шкала в А/м

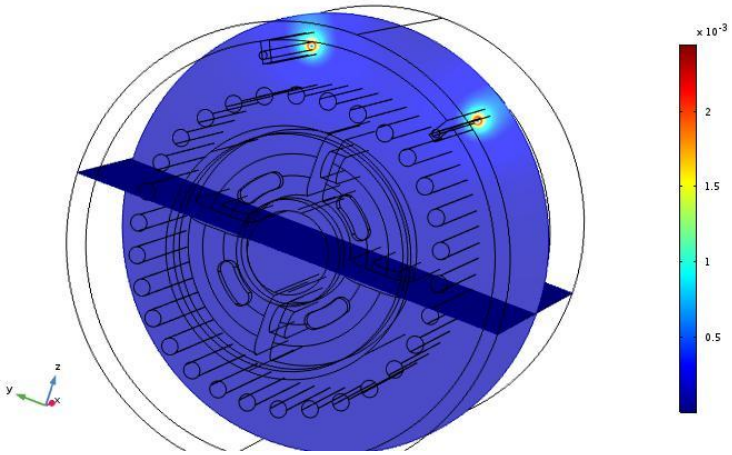


Рис. 3. Распределение векторов магнитной индукции в якоре тягового двигателя, шкала в Тл

Из рис. 2 видно, что магнитное поле, наводимое одной секцией мало и уже во втулки якоря напряженность поля равна нулю. При этом в пазу якоря уложена два проводника, то есть начало одной и конец другой секции, что приводит к увеличению напряженности магнитного поля в два раза. Для всего же объема якоря тягового двигателя напряженность магнитного поля мала, чтобы наводить ЭДС в валу машины.

Таким образом, в тяговых двигателях продольное намагничивание вала не происходит и, следовательно, явления униполярной индукции не возникает.

Список литературы

1. *Буйносов А.П., Стаценко К.А., Бган Е.В., Мишин Я.А.* Исследование причин повреждения подшипников тяговых двигателей электровозов // Научно-технический вестник Поволжья. 2013. № 1. С. 113-116.

2. *Мишин Я.А.* Методика расчета тока в колесно-моторном блоке при аварийных режимах работы тягового двигателя // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. 2017. № 3 (35). С. 118-127.

3. *Гемке Р.Г.* Неисправности электрических машин. 7-е изд., исправлен. и доп. Л.: Энергия, 1975. 296 с.

4. *Гольдштейн Л.Д., Зернов Н.В.* Электромагнитные поля и волны. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Советское радио, 1971. 664 с.

5. *Буйносов А.П., Мишин Я.А.* Повреждение роликовых подшипников электровозом электрическим током // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. 2015. № 1. С. 166-169.

05.02.02

В.П. Новоселов канд. техн. наук, М.Д. Лукашук

ФГАОУ ВО Уральский федеральный университет
им. первого Президента России Б.Н. Ельцина,
Институт новых материалов и технологий, кафедра металлургических и роторных машин,
Екатеринбург, ptmir@inbox.ru, 0606.98@mail.ru

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ НАГРУЗОК В НОВОЙ РАБОЧЕЙ КЛЕТИ СТАНА ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКИ ТРУБ

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-5-93-95

В статье представлены результаты экспериментального исследования процесса прокатки в рабочей клети стана ХПТ с оригинальной конструкцией механизма вращения прокатных валков. Подтверждено рассчитанное теоретически снижение технологических нагрузок и энергозатрат процесса прокатки при использовании новой конструкции.

Ключевые слова: *прокатная клеть, экспериментальное исследование.*

Эффективность и производительность станов холодной прокатки труб в существенной мере ограничивается проектными и конструкторскими решениями, заложенными в основные узлы механизмов главного привода стана и привода прокатных валков. Существующая конструкция рабочей клети формирует жесткий принудительный и поэтому нерациональный режим обжатия прокатываемого металла [1]. Это ведет к возрастанию технологических усилий, увеличению нагрузок на основные узлы стана, дополнительным затратам мощности.

В Уральском федеральном университете создана конструкция рабочей клети с оригинальным приводом прокатных валков, обеспечивающим соответствие принудительного и естественного катающих радиусов рабочих калибров [2]. Это формирует заранее просчитанный, управляемый и наиболее рациональный режим обжатия металла.

Рабочая клеть (рис. 1) включает в себя установленные в корпусе 1 на прокатных валках 2 профилированные диски 3, приводимые во вращение гибкими упругими связями 4, закрепленными одними концами на дисках 3, другими на станине 5.

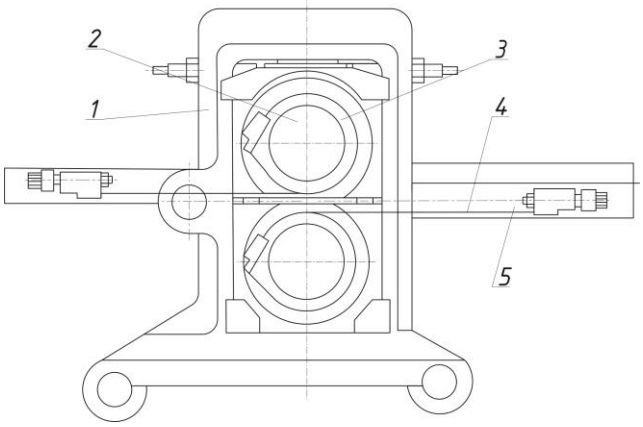


Рис. 1 – Рабочая клеть

Поступательное перемещение дисков с прокатными валками при движении клети преобразуется благодаря наличию гибких упругих связей во вращательное, закон которого диктуется переменным мгновенным радиусом профилированного ведущего диска. Установка в таком приводе ведущих дисков, спрофилированных в соответствии с законом изменения естественного катающего радиуса рабочих калибров в очаге деформации, обеспечивает наиболее рациональный режим обжатия металла и снижение вертикальных и осевых технологических усилий прокатки. Профиль ведущих дисков может быть выполнен также в соответствии с любым целесообразным законом, диктуемым конкретными задачами и

условиями процесса прокатки. Разработана методика расчета профиля дисков для всех режимов и маршрутов прокатки станов ХПТ всех типоразмеров. Упругие связи выполнены из стальной холоднокатаной термообработанной ленты ГОСТ 21996- 86 сечением 1,0х80 мм из стали У8А с пределом прочности 1,96 ГПа. Разрывное усилие ленты составляет 156,8 кН, предел усталостной прочности – 860 мПа.

Исследование проведено на промышленном стане ХПТ-32 (УЗТМ). В ходе исследования прокатана партия труб по маршрутам: 1) 32х2,4 – 18х1; 2) 45х4,0 – 25х2,75; 3) 45х5 – 25х1,0. Выполнялись замеры основных энергосиловых параметров процесса: вертикального и осевого усилий прокатки на трубе и оправке, усилия в стальных лентах линии привода прокатных валков, величины тока двигателя главного привода стана.

Испытания на первом этапе показали, что при установке в рабочей клети непрофилированных ведущих дисков постоянного радиуса осевые технологические усилия при прокатке во всем указанном диапазоне маршрутов и подач исследуемого стана уменьшились в 2-3 раза на прямом ходе клети и в 2 раза на обратном в сравнении с традиционным зубчато-реечным приводом. На рис. 2 представлена типовая осциллограмма замеров осевого усилия. Полученный результат позволяет сделать вывод о том, что формирование рационального режима обжатия прокатываемого металла в очаге деформации в значительной мере обусловлено не только кинематическими, но и упругими динамическими характеристиками конструкции линии привода прокатных валков.

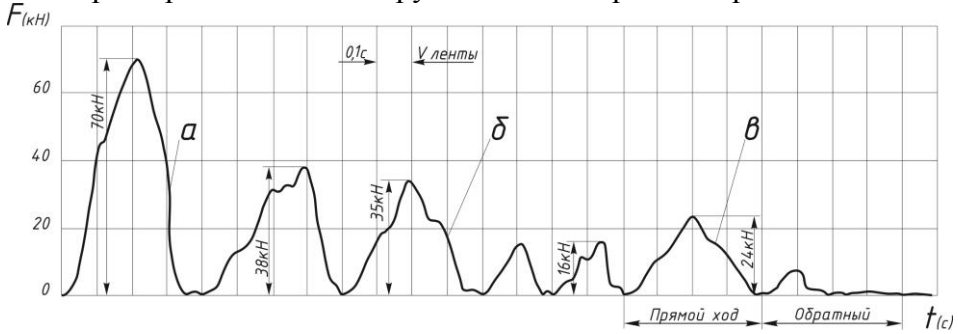


Рис. 2 – Осциллограмма осевого усилия прокатки:
а) – существующий привод, б) – новый привод с непрофилированным ведущим диском,
в) – новый привод с профилированным ведущим диском

Установка в рабочей клети профилированных ведущих дисков позволила практически полностью устранить осевое усилие прокатки при прямом ходе клети и снизить в 2-3 раза при обратном (рис. 2).

Значительное снижение и полное устранение осевых сжимающих усилий, действующих на прокатываемую заготовку, обуславливает в соответствии с известными теоретическими расчетами [3] уменьшение удельных давлений в очаге деформации и снижение значительных по величине вертикальных усилий прокатки. Это теоретическое положение полностью подтвердилось в ходе проведенных испытаний. Замеры вертикального усилия при прокатке по маршруту 45х4 – 25х1,3 с подачей 15 мм показали его значительное снижение с величины 440 кН до 395 кН в новой конструкции в сравнении с зубчато-реечным приводом. На том же маршруте прокатки осевое усилие снижено с 38 кН практически до нуля при прямом ходе и с 70кН до 24кН при обратном.

Расчет эквивалентного среднеквадратичного за цикл прокатки момента и мощности электродвигателя главного привода стана, выполненный на основании осциллограмм экспериментального замера величины тока, потребляемого этим двигателем (рис.3), во всем диапазоне маршрутов и режимов прокатки, показал снижение этих важнейших энергосиловых характеристик на величину до 20% при использовании новой конструкции рабочей клети. Этот результат хорошо согласуется с теоретическим выводом, полученным в ходе динамических расчетов циклового механизма исследуемого стана [2].

Одна из важнейших задач исследования – определение технологических и динамических нагрузок, возникающих в стальной ленте привода рабочих валков в процессе прокатки, а

также анализ нагрузочной способности и прочности ленты при работе стана во всем диапазоне рабочих режимов и маршрутов.

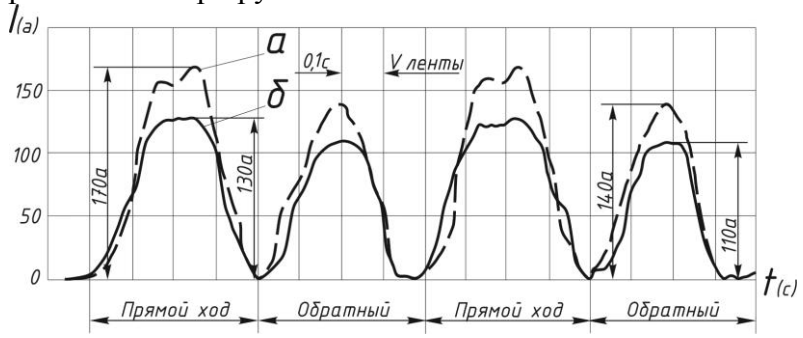


Рис. 3 – Осциллограмма тока двигателя главного привода:
а) – существующий привод, б) – новый привод

Влияние прочностных свойств прокатываемого металла и степени его обжатия, с учетом объема очага деформации, на рабочие усилия в стальной ленте изучено в ходе прокатки заготовок из сталей марок от углеродистой стали 20 с пределом текучести 210 мПа до высокопрочной стали ШХ15 с пределом текучести 850 мПа, включая нержавеющие стали и ряд других сплавов. Максимальная величина усилия в стальной ленте привода валков при прокатке труб из стали ШХ15 по наиболее напряженному маршруту 45х5 – 24,5х1,0 с подачей 15 мм при скорости клети 100 дв.х/ мин. по результатам замеров составила 42,3кН – 45,5 кН, что не превосходит 30% величины ее разрывного усилия. При этом напряжения, возникающие в ленте, составили 659 мПа и не превосходят 66% предела выносливости материала ленты. Это гарантирует надежность и долговечность эксплуатации новой конструкции привода вращения прокатных валков.

Проанализировано влияние скорости возвратно-поступательного движения прокатной клети с валками на усилия в стальной ленте путем последовательного пошагового увеличения числа двойных ходов клети в минуту от 40 дв.х/мин до 120 дв.х/мин при фиксированном маршруте и режиме прокатки. Возрастание скорости клети закономерно ведет к росту динамических нагрузок в линии главного привода стана и линии привода прокатных валков. Анализ и статистическая обработка результатов замеров усилия в стальной ленте привода валков позволяют сделать вывод, что увеличение скорости движения клети не вызывает пропорционального возрастания нагрузок в стальной ленте. Так, при увеличении скорости клети вдвое от 40дв.х/мин до 80дв.х/мин усилие в ленте привода возрастает в 1,22-1,25 раз. Увеличение скорости клети до 120 дв.х/мин, т.е. в 3 раза, сопровождается ростом усилия в ленте в 1,4-1,5 раза. Аналогичное исследование зубчато-реечного привода прокатных валков показало, что возрастание динамических нагрузок в такой конструкции происходит практически с тем же коэффициентом пропорциональности, что и увеличение скорости движения клети.

Таким образом, представленные результаты подтверждают не только рациональную кинематику, обеспечивающую значительное снижение технологических нагрузок, но и более совершенные динамические характеристики новой конструкции, обусловившие 2-кратное снижение уровня динамичности в системе привода. Установлено, что прочностные характеристики используемой в приводе стандартной стальной ленты отечественного производства гарантируют надежную и длительную эксплуатацию рабочей клети новой конструкции.

Список литературы

1. *Шевакин Ю.Ф.* Калибровка и усилия при холодной прокатке: М., Машиностроение, 1983, с.74-83.

2. *Новоселов В.П., Лукашук М.Д., Пестов К.Н.* Динамический анализ циклового механизма привода стана холодной прокатки труб: Казань, Научно-технический вестник Поволжья, №2, 2018, с.32-34.

3. *Чечулин Ю.Б., Новоселов В.П.* Комплексная модернизация стана периодической холодной прокатки труб и его исследование: Екатеринбург, Теория машин металлургического оборудования, Межвузовский сборник, 2016, с.14-19.

05.02.00

И.Ю. Смирнова, Д.А. Феоктистова, Д.Г. Алленов

Российский университет дружбы народов,
инженерная академия, департамент «Машиностроения и приборостроения»
Москва, your-joy@bk.ru, dariya.shpineva@mail.ru

АКТУАЛИЗАЦИЯ МЕТОДОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА СТАНОЧНОГО ПАРКА

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-5-96-98

В статье приведены: анализ устаревших положений и возможности актуализации вышеуказанной общеотраслевой методики. Отражен положительный опыт предприятий в части внедрения на предприятия новых методов выполнения ремонтно-восстановительных работ. Предложены варианты решения актуальной проблемы.

Ключевые слова: *техническое обслуживание, планово-предупредительный ремонт, станочный парк, вибродиагностика.*

Обеспечение должного качества выпускаемой продукциии ее конкурентоспособности на предприятиях машиностроительного комплекса и ОПК определяется как на стадии ее создания (проектирования, выбора аналога, приемочных испытаний), так и на этапе ее изготовления, с формированием при этом соответствующего технологического процесса на базе современного технологического обрабатывающего оборудования (ТОО) и сохранением стабильности его основных качественных критериев (производительности, точности, надежности и пр.). Это возможно только при проведении должного технического обслуживания и ремонта (ТОиР) эксплуатируемого ТОО, требующего, в свою очередь, значительных материальных и финансовых затрат.

До настоящего времени при решении вышеуказанной проблемы на предприятиях использовали общеотраслевую методику «Типовая система технического обслуживания и ремонта металло и деревообрабатывающих станков* («Система ППР»)». [1]. Она обеспечивала комплексное решение вопросов: и организации на производстве соответствующих служб по проведению ТОиР ТОО, и расчетов ремонтосложности не только по всем видам, и конкретных моделей ТОО, и формированию планов проведения различного вида ТОиР.

Однако эта методика (разработана в 1988 году), морально устарела по всем разделам (организационный, методический, справочный): современное ТОО (многоинструментальные станки с ЧПУ, в т.ч. типа «ОЦ», станки, реализующие магнито-электро- релаксационные и пр. прогрессивные технологические методы обработки и превалирующие в технологическом парке современных производств отсутствует в номенклатуре методики. Так же отсутствуют и новые материалы с не типовыми физико-техническими свойствами, и режимы резания при сверхскоростной обработке, а качественные типовые виды ТОиР, их сроки, объемы и условия выполнения не отвечают режимам эксплуатации ТОО в условиях рыночных отношений, которые стали значительно более жесткими.

Основные виды ремонтно-восстановительных работ станочного парка (ТОиР ТОО), классифицирующиеся по способу организации, составу сложности ремонта или техническому состоянию.

В настоящее время большинство машиностроительных предприятий не располагают возможностями проводить в необходимых объемах и надлежащего качества ТОиР ТОО централизованно согласно «Системы ППР» ввиду того, что станкоремонтные заводы практически исчезли, а собственными силами – по причине деградации или полной ликвидации служб главного механика (СГМ). И большинство отечественных предприятий

вынуждены проводить ТОиР ТОО в «усеченном» виде, т.е. частично (выборочно) по устаревшей морально вышеуказанной «Системе ППР», либо эксплуатируют оборудование до его отказа (поломки).

Для проведения диагностики ТС ТОО виброакустическим методом требуется подготовка диагностической карты. Исходными данными для построения диагностической карты являются: кинематическая схема станка, схема расположения подшипников, схема установки датчиков, геометрические характеристики и режим работы диагностируемого механизма.

Стационарная система компьютерного мониторинга состояния оборудования – система «КОМПАКС» [2] осуществляет комплекс функций по ТОиР ТОО, она предназначена для безопасной эксплуатации ТОО, предупреждения аварий, контроля и управления техническим состоянием оборудования путем его непрерывного компьютерного мониторинга. Эта сложная дорогостоящая система ТОиР в настоящее время находит применение только в отдельных отраслях, имеющих материальные возможности для ее организации, при реализации которой решается целый комплекс задач, включая:

- исключение аварий и простоев из-за отказа оборудования;

-максимальное увеличение межремонтного периода всего ТОО;

-снижение сложности остановочных ремонтов, исключение неэффективных внеплановых и планово-предупредительных ремонтов технологических объектов;

-снижение в целом эксплуатационных затрат на ТОиР и пр.

Но сложность и высокая её стоимость, связанная с необходимостью значительного качественного и количественного состава профессиональных специалистов и дорогостоящих средств диагностики, а ее эффективность оценивается не столько количественными показателями, сколько качественными, т.е. бесперебойностью производственного цикла и степенью стабильности выпуска качественной продукции.

Начальные двухтысячные годы охарактеризовались и разнообразными по назначению и содержанию предложениями и вариантами косвенного решения и актуализации отдельных аспектов ТОиР ТОО, в частности:

- справочник под редакцией А. И. Ящура: «Система технического обслуживания и ремонта общепромышленного оборудования», Издательство НЦ ЭНАС» 2006 год [3], - его материалы имеют рекомендательный характер для вновь организуемых малых и средних предприятий и в определенной степени могут использоваться предприятиям и различных отраслей при разработке собственных положений по ТОиР или послужат необходимой методической нормативной базой в вопросах эффективного планирования потребностей в материальных и финансовыхресурсах, а также инструментом для выработки правильных организационных решений по совершенствованию или организации ремонтной службы.

«Узким» местом в вопросе определения ремонтосложности станочного парка стал в последние десятилетия, как это ни парадоксально звучит,резкий скачок в развитии и освоении станков с ЧПУ, переход к модульному принципу их проектирования, и, как результат – образованию широкой группы станков с общим названием «многофункциональные станки» (многоинструментальные, типа ОЦ). Эта «универсальность» современного станочного парка вносит значительную неопределенность не только в формулирование и четкое изложение его технологических возможностей, правильности отнесения его к соответствующей группе по традиционной классификации, но и, соответственно, в определение его ремонтосложности, являющейся основанием в последующих расчетах численности и структуры ремонтных служб.

Проблема которая не решается по сей день - проблема качества выполнения процесса ТОиР ТОО на предприятиях, у которых главной задачей было и остается основное производство по выпуску продукции, а не вспомогательные производства, к которым всегда относили ТОиР. Даже рекомендации ИСО 9000:2000 представляют для оценки качества измеряемые параметры к любому процессу (как типовому) основного производства. В работах А.В.Федорова [4,5] обосновывается, почему при оценке качества процесса ТОиР непригодны показатели, характерные для основного производственного процесса,

излагаются специфические показатели оценки качества конкретно для процесса ТОиР, и положительные результаты внедрения новой методики.

Исходя из материалов проведенного анализа, ранее применяемых и вновь разработанных и апробированных на реальных производствах методов и средств выполнения ТОиР ТОО можно сделать следующие выводы и предложения:

1. На предприятиях машиностроительного комплекса и ОПК до настоящего времени используют в решении многих вопросов реализации процесса ТОиР ТОО общеотраслевую устаревшую методику «Система ППР» разработки (1988г.) головного института Минстанкопром СССР «ЭНИМС» (667стр.), т.к. современные аналогичные методические материалы, позволяющие комплексно решать сложные вопросы вышеуказанного процесса отсутствуют.

2. Востребованность предприятий машиностроения и ОПК, многократно подтвержденная резолюциями межотраслевых семинаров 2012–2015 годах, по вышеуказанной проблеме очень высокая.

3. Выполняя резолюции проведенных межотраслевых семинаров и конференций в области актуализации устаревшей методики, ПАО «ЭНИМС» в 2015 году направило соответствующие заявки на выполнение НИР по её актуализации в Департамент Минпромторг РФ, в АО «СТАНКОПРОМ» и в Росстандарт. Повторив заявки на выполнение этих НИР и в 2016году, до настоящего времени подтверждения по включению выше обозначенных актуальных НИР в тематику прикладных НИР от указанных инстанций не получено, что в принципе не способствует реализации курса Правительства РФ на всеобщую модернизацию предприятий.

4. В научно-производственных подразделениях различных отраслей, в.ч. предприятиях Роскосмоса, в «Корпорации «МиР», ПАО ЭНИМС» и др. накоплен определенный положительный опыт по прогрессивным методам и формам выполнения ТОиР ТОО, подтверждающий положительный эффект в производительности, объемах выпуска и обеспечении стабильного качества выпускаемой продукции. В частности, глубокая безразборная вибродиагностика в различных исполнениях, необходим глубокий анализ накопленного опыта и систематизация отдельных результатов НИР- с последующей разработкой национального стандарта как типовых методических рекомендаций для широкого использования на предприятиях различных отраслей. В стандарте должны быть определены основные разновидности вибродиагностики ТОО, условия и средства исследований, сроки выполнения при техническом перевооружении и ТОиР станочного парка.

Список литературы

1. *Клягин В. И., Сабиров Ф.С.* Типовая система технического обслуживания и ремонта металлорежущего и деревообрабатывающего оборудования. - М.: Машиностроение, 1988. С. 672.

2. Система компьютерного мониторинга для предупреждения аварий и контроля состояния КОМПАКС.

3. *Ящура А. И.* «Система технического обслуживания и ремонта общепромышленного оборудования», Издательство НЦ ЭНАС», 2008г.

4. *Анцев В. Ю., Федоров А. В., Долгов А. В.* «Управление процессом технического обслуживания и ремонта металлорежущего оборудования//Справочник. Инженерный журнал. №8.2004г.

5. *Федоров А.В*. «Методика оценки качества процесса технического обслуживания и ремонта металлорежущих станков», Материалы юбилейной конференции, посвященные 80-летию Л.Б. Дмитриева

05.02.11

В.С. Тынченко[1] канд. техн. наук, Д.Д. Мешков[1], В.В. Тынченко[2] канд. техн. наук, В.В. Бухтояров[1] канд. техн. наук

Сибирский федеральный университет,
[1]институт нефти и газа,
кафедра технологических машин и оборудования нефтегазового комплекса,
[2]институт космических и информационных технологий,
кафедра информатики
Красноярск, vadimond@mail.ru, denis_meshkov888@mail.ru, 051301@mail.ru, vbukhtoyarov@sfu-kras.ru

УСТАНОВКА ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ РАБОЧЕЙ ЖИДКОСТИ КОМПРЕССОРА НЕФТЕПЕРЕКАЧИВАЮЩЕЙ СТАНЦИИ[1]

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-5-99-101

В статье отражаются результаты исследований в области диагностики состояния рабочей жидкости для компрессоров нефтеперекачивающей станции, на основе чего аргументируется необходимость проведения регламентированных работ. Для определения состояния рабочей жидкости компрессора предлагается специализированное оборудование. Показан пример применения предложенной установки.

Ключевые слова: *компрессор, рабочая жидкость, диагностика, нефтеперекачивающая станция*.

Введение

Функционирование современных нефтеперекачивающих станций связано с эксплуатацией компрессоров (различных типов), предназначенных для сжатия (дожатия) нефтяного газа или воздуха — вследствие этого процесса осуществляется перекачка жидкостей и газов (нефти и нефтепродуктов, природного газа) [1, 2].

Техническое состояние компрессора (как одного из наиболее ответственных структурных элементов) в значительной степени определяет показатели надежности и функциональной эффективности компрессорной установки [3, 4].

Поток отказов винтовых компрессоров, который приводят к потерям функционального качества (переходу в неработоспособное состояние) достаточно часто формируется вследствие изменения состояния рабочей жидкости, которое характеризуется снижением её основных физических характеристик (кинематической вязкости, температуры вспышки) за счет появления примесей и изменения химической структуры вещества [5].

1. Установка для испытания рабочей жидкости компрессора

Определение количественных характеристик рабочей жидкости, которые способны привести к формированию потока отказов, возможно произвести при помощи разработанной экспериментальной установки (рисунок 1).

[1] Работа выполнена в рамках проведения исследований по теме МК-1574.2017.8 «Разработка экспертной системы анализа и управления надежностью, рисками и аварийными ситуациями при эксплуатации технологического оборудования нефтегазового комплекса» финансируемой Советом по грантам Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых.

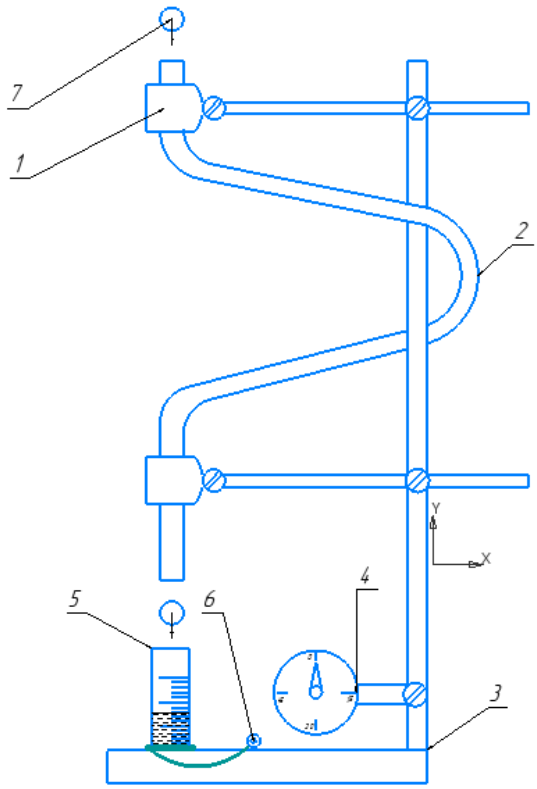


Рис. 1 – Экспериментальная установка испытания рабочей жидкости (трансформаторного масла) компрессора
1 – зажим, 2 – силиконовый патрубок, 3 – лабораторный штатив, 4 – секундомер, 5 – колба, 6 – светодиод с пьезодатчиком, 7 – шариковый подшипник.

Лабораторный стенд оснащен лабораторным штативом с двумя зажимами, которые фиксируют начало патрубка и конец патрубка. Длина патрубка составляет 1 метр, патрубок обвивается вокруг штатива. Внутренний диаметр патрубка $d_{вн.п.}$ = 0,013 м, внешний $d_{внешн.п.}$ = 0,015 м, диаметр шарика $d_{шар.}$ = 0,009 м с массой $m_{шар.}$ = 0,020 кг.

На платформе штатива расположена колба, на дне которой припаян пьезодатчик. Дно герметизировано, чтобы избежать утечки рабочей жидкости. Диаметр пьезодатчика $d_{пьезо.}$ = 0,013 м, длина колбы L = 0,007 м, диаметр колбы $d_{колба}$ = 0,022 м. Так же на стенде расположен секундомер.

Путем измерения времени прохождения шарика по силиконовому патрубку, возможно предположить, как проявляется трение между материалами, измеряя от более свежего трансформаторного масла, к изношенному. Также при помощи пьезодатчика, который соединен со светодиодом определяется степень вязкоупругости при соударении материалов.

После протекания шарика по патрубку, он скатывается и падает в полость колбы, на дне которой прикреплен пьезодатчик, спаянный с диодом. В полости колбы залита рабочая жидкость, подвергаемая испытаниям. Путем пробивания жидкости, визуально определяется ее вязкоупругость, а именно пропускная способность. Рабочая жидкость, утратившая свои физические свойства, легко пропускает удар, в результате чего загорится светодиод.

2. Экспериментальные результаты испытаний

Испытания проводились при разогретом масле до температуры 60^0С. Было испытано 6 образцов масла с разной наработкой: 0 м/ч, 2500 м/ч, 3000 м/ч, 3500 м/ч, 4000 м/ч и 5000 м/ч. При этом, заранее известно, что первые 2 образца масла являются пригодными для применения в компрессоре, образец 3 подлежит скорой замене. Образцы 4, 5 и 6 по своим свойствам являются непригодными для работы.

В таблице представлены результаты экспериментальных испытаний, при этом измерялись время протекания шарика и реакция на пробивную способность. По таблице, видно, что с течением выработки масла, в его химической основе видны изменения, а именно, плотность масла одного и того же объема меняется, при воздействии температуры и длительной эксплуатации.

Таблица – Испытания рабочей жидкости

Образец	Наработка в мото-часах (м/ч)	Время протекания шарика (сек.)	Реакция на пробивную способность
Образец 1	0	2,47	Реакция не наблюдается
Образец 2	2500	1,89	Реакция не наблюдается
Образец 3	3000	1,71	Реакция наблюдается слабо
Образец 4	3500	1,59	Происходит реакция
Образец 5	4000	1,53	Происходит реакция
Образец 6	5000	1,33	Происходит реакция

Рабочая жидкость теряет свои начальные физические свойства в период эксплуатации, за счет воздействия на него механических нагрузок, повышенных температур, в связи с чем происходит химический распад молекулярного состава, плотности, вязкости.

При падении шарика в колбу, масло препятствует и поглощает энергию шарика, это проявляется в результатах таблицы опытного масла №1 и №2, наработка жидкости соответствует рабочим характеристикам и способна продолжить работу, вязкость не изменилась и присутствует упругость. Результаты испытаний образца 3 показывают, что физические характеристики масла не существенно начинают снижаться, ухудшается вязкоупругость, снижается плотность. Испытания образцов под номерами 4, 5 и 6 показывают, что в результате высокой наработки значительно ухудшились физико-химические свойства масла. Рекомендуется замена рабочей жидкости, чтобы избежать нежелательные потери в работе компрессора.

В результате экспериментов выявлено, что возникающие в процессе работы компрессора трение и высокая температура приводят к значительному ухудшению состава масла: смазывающие свойства ослабевают и ухудшается плотность. Все это приводит к негативным последствиям, избежать которые позволяет внедрение схемы планово-предупредительных ремонтов по состоянию.

Выводы

В работе была исследована проблема качества диагностики состояния рабочей жидкости компрессоров нефтеперекачивающей станции. Предложена установка для испытания рабочей жидкости и схема проведения таких испытаний.

В результате проведения экспериментальных исследований доказано, что разработанный подход к диагностике позволяет определять качество трансформаторного масла с достаточной достоверностью.

Список литературы

1. *Веригин И. С.* Компрессорные и насосные установки. — М.: Академия. 2007. — 288 с.
2. *Потапов В.Я., Миняев Ю.Н., Копачёв В.Ф.* Конструкции винтовых компрессоров. — Екатеринбург: УГГУ. 2005. — 48 с.
3. *Михайлов А.К., Ворошилов В.П.* Компрессорные машины./ Учебник для вузов. — М.: Энергоатомиздат, 1989. — 288 с.
4. *Цыганов П.А., Богачев К.А.* Особенности расчета надежности компрессоров // Новые информационные технологии в автоматизированных системах. 2013. №1 — С.9–14.
5. *Берденников, А. И.* Диссипативные, упругие и смазочные свойства рабочих жидкостей систем гидравлики // Трение и износ. 1983. Т.4. №3. — С. 476–482.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ (05.11.00)

05.11.07

И.И. Батыршин, О.Г. Морозов д-р техн. наук, А.А. Иванов, А.Ж. Сахабутдинов канд. физ.-мат. наук, А.А. Тяжелова, Л.М. Сарварова

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ, кафедра радиофотоники и микроволновых технологий, Казань, microoil@mail.ru

АНАЛИЗ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ МГНОВЕННОЙ ЧАСТОТЫ СВЧ-СИГНАЛОВ В БРИЛЛЮЭНОВСКИХ РАДИОФОТОННЫХ СИСТЕМАХ

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-5-102-104

Поставлена и решена задача определения погрешности метода измерения мгновенной частоты множества одновременно действующих в области приемной антенны СВЧ-сигналов, основанного на их последовательном частотном расщеплении в электрооптическом модуляторе на ширину контура усиления вынужденного рассеяния Мандельштама-Бриллюэна (ВРМБ) на полувысоте, фильтрации и преобразовании «частота-амплитуда» в указанном контуре, возбужденном в одномодовом оптическом волокне. Полученные оценки точности определения момента равенства амплитуд обеих частотных составляющих внутри контура ВРМБ свидетельствуют о возможности получения выигрыша по отношению сигнал/шум в 3-6 раз по сравнению с методом определения неизвестной частоты по одной составляющей и максимальному усилению контура.

Ключевые слова: *микроволновая фотоника, измерение мгновенной частоты, вынужденное рассеяние Мандельштама-Бриллюэна, двухчастотное расщепление, метрологические характеристики.*

Введение. Широкое применение эффекта ВРМБ в области сенсорных систем и бриллюэновской радиофотоники привел к появлению новых средств измерения мгновенной частоты СВЧ-сигналов ИМЧСС. Они основаны на принципах сканирования всего исследуемого диапазона частот, возбуждаемым в волокне контуром усиления ВРМБ [1]. Одним из основных преимуществ этого метода является возможность ИМЧСС одновременно нескольких различных источников с высоким разрешением. Это определило наш выбор использования ВРМБ для решения проблем ИМЧСС.

Представленные в [2] способы детектирования и определения характеристик контура усиления ВРМБ с помощью методов частотного сканирования являются обратной задачей к задаче определения неизвестной частоты с помощью сканирования контура усиления. Указанные методы зеркальны и имеют ряд одинаковых ограничений. Классический метод определения характеристик контура усиления ВРМБ основан на использовании двух лазеров: одного для накачки ВРМБ и другого для определения генерируемого спектрального коэффициента усиления. Недостатком этого метода является необходимость строгого контроля разности частот и фаз обоих источников. Решение представляет собой усовершенствованный метод, в котором электрооптический модулятор Маха-Цендера имеет выходной сигнал, представляющий собой несущую накачки с боковыми полосами, одна из которых затем используется для сканирования контура усиления ВРМБ. Дальнейшее усовершенствование методов исследования контура усиления ВРБМ достигнуто при использовании амплитудной двухполосной модуляции или модуляции с подавленной несущей, однополосной модуляции и т.д. Несмотря на ряд преимуществ, реализация этих

методов не всегда эффективна из-за низкой чувствительности измерений для широкого диапазона частот. Ограничения на точность измерений налагает сам механизм одночастотного определения максимума контура усиления ВРМБ или определения момента совпадения неизвестной частоты и максимума контура при сканировании последнего. Другие компоненты используются только для обеспечения стабильности измерений.

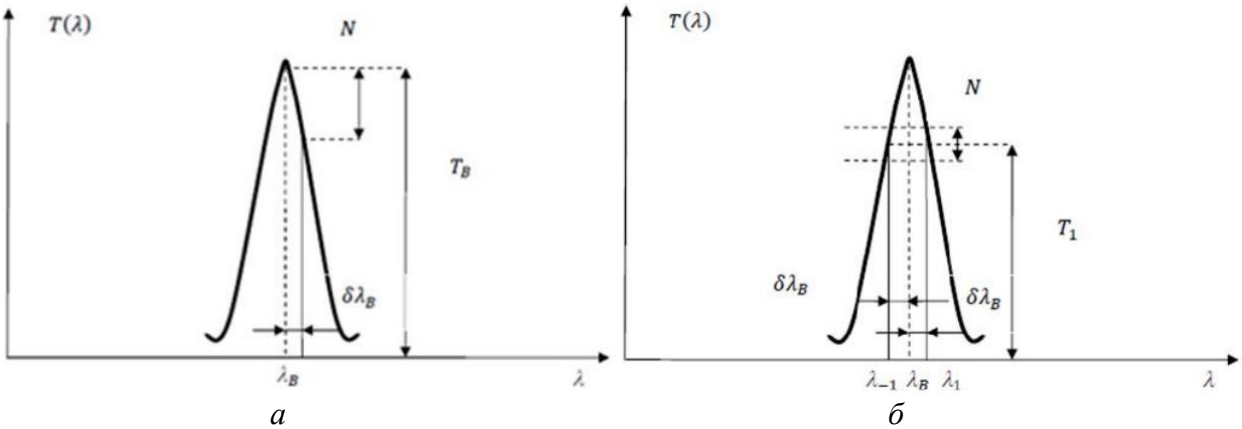
Постановка задачи. Исходя из вышесказанного, можно поставить задачу повышения точности ИМЧСС радиофотонными системами на основе преобразования «частота-амплитуда» в контурах усиления или поглощения ВРМБ, используя сканирование контуром спектра неизвестных СВЧ-частот, предварительно расщепленных на две идентичные составляющие симметрично относительно измеряемой частоты [3]. Данная задача является обратной задаче двухчастотного сканирования неизвестного контура ВРМБ, основанной на принципах, опубликованных и реализованных в различных способах ИМЧСС [4-6].

При сканировании контуром усиления ВРМБ двух расщепленных компонент неизвестного СВЧ-сигнала происходит изменение их усиленных амплитуд в зависимости от относительного положения каждой к центральной частоте контура. Когда центральная частота контура совпадет с измеряемой частотой, амплитуды расщепленных компонент становятся равными. Двухчастотное излучение, прошедшее через волокно и контур ВРМБ, принимается фотоприемником. В ситуации равенства компонент измеряемая частота f_m соответствует известной в каждый конкретный момент сканирования центральной частоте контура усиления ВРМБ и регистрируется по амплитуде и коэффициенту амплитудной модуляции частоты их огибающей биений, который в этом случае равен 1.

Использование указанных операций позволяет выполнять измерения мгновенной частоты с высоким разрешением и точностью (ширина контура ВРМБ на полувысоте составляет 10 МГц, а погрешность сканирования его центральной частоты – единицы Гц с требуемой погрешностью).

Решение задачи. Относительная погрешность измерения центральной частоты может составить 0,1% и определяется шириной линии излучения лазера, а также точностью поддержки частоты модуляции, накачки и расщепления. Определенная доля погрешности может появиться из-за не полностью подавленного в модуляторе излучения измеряемой частоты.

Задача сравнения точности измерения для классического одночастотного и предложенного двухчастотного определения центральной длины волны контура усиления ВРМБ или неизвестной измеряемой СВЧ-частоты показана на рис. 1,*а* и рис. 1,*б* соответственно.



а *б*

Рис. 1. Анализ ошибок определения измеряемой частоты при реализации сканирования контуром ВРМБ одночастотного (а) и предварительно расщепленного двухчастотного (б) СВЧ-сигналов.

Наличие шума N со стандартным отклонением в измерительной системе (рис. 1,a) приводит к возникновению ошибок измерения неизвестной частоты λ_B на величину $\delta\lambda_B$. Отношение сигнал/шум будет определяться следующим выражением:

$$SNR = (i_s^2)/(i_n^2) = S^2/N^2. \quad (1)$$

Учитывая, что SNR >> 1, получаем:

$$\delta\lambda_B = \Delta\lambda_B/2(\sqrt{SNR^{1/2} - 1}), \quad (2)$$

где $\Delta\lambda_B$ – полная ширина на полувысоте амплитуды контура усиления.

Таким образом, *SNR* определяет точность измерения λ_B и, следовательно, определяет точность метрологических характеристик ИМЧСС. Для ситуации с предварительно расщепленным двухчастотным сигналом $\delta\lambda_B$ будет в $\sqrt{2}$ раз меньше.

Обработка сигналов по огибающей биений двух компонент не требует широкополосного приема. Это позволяет значительно сузить полосу пропускания принимающей части устройства (от единиц ГГц до нескольких МГц) и, следовательно, дополнительно увеличить выигрыш по отношению *SNR* (до 3-6 раз по уровню сигнала) Кроме того, следует учесть, что полоса детектора по огибающей находится в области минимальных шумов приемной части устройств ИМЧСС, что также увеличивает *SNR* и позволяет избежать влияния на точность измерения интенсивных низкочастотных колебаний и помех.

Заключение. Проведенный анализ показывает, что для обеспечения выигрыша по точности ИМЧСС в единицы Гц требуется использовать метод сканирования контуром ВРМБ предварительно расщепленной на две составляющие неизвестной частоты. Общая оценка выигрыша по *SNR*, определяющего точность измерений, показывает возможность его увеличения в 3-6 раз по сравнению с известными.

Работа выполнена при поддержке МОН РФ в рамках госзадания на выполнение НИР в КНИТУ-КАИ на 2017-2019 годы (программа «Асимметрия», задание 8.6872.2017/8.9).

Список литературы

1. *Zheng S., Ge S., Zhang X.* High-resolution multiple microwave frequency measurement based on stimulated Brillouin scattering // IEEE Photon. Technol. Lett. 2012. V. 24. № 13. P. 1115–1117.

2. *Сахабутдинов А.Ж., Нуреев И.И., Морозов О.Г.* Уточнение положения центральной длины волны ВБР в условиях плохого соотношения сигнал–шум // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2015. Т. 18, №3–2. С. 98–102.

3. *Батыршин И.И. и др.* Спектрально-частотное разнесение как инструмент повышения точности радиофотонных измерителей мгновенной частоты микроволновых сигналов // Научно–технический вестник Поволжья. 2017. № 3. С. 60–63.

4. *Морозов О.Г. и др.* Измерение мгновенной частоты с помощью двухчастотного зондирования // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 4. С. 146-149.

5. *Морозов О.Г. и др.* Измерение мгновенной частоты СВЧ-радиосигналов в оптическом диапазоне на основе преобразования «частота-амплитуда» в волоконной решётке брэгга с фазовым π-сдвигом // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2013. № 3 (19). С. 30-41.

6. *Морозов О.Г., Морозов Г.А., Талипов А.А., Куприянов В.Г.* Определение характеристик спектра усиления Мандельштама – Бриллюэна с помощью двухчастотного зондирующего излучения // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2012. Т. 15. № 3. С. 95-100.

05.11.13

Н.Н. Беспалов канд. техн. наук, Ю.В. Горячкин канд. техн. наук, А.В. Зорькин

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

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ ТИРИСТОРОВ В РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ ИСПЫТАНИЯ

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-5-105-108

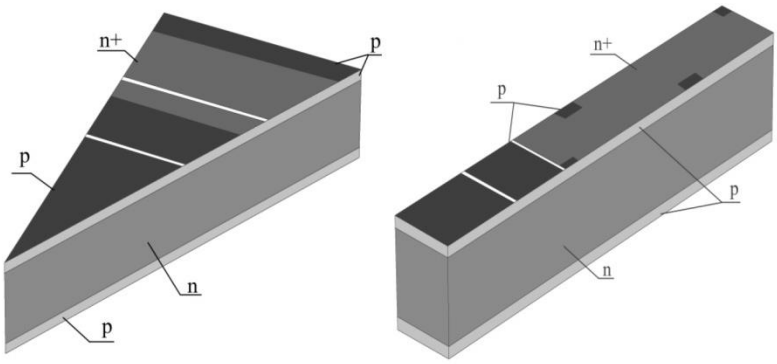
В статье на основе моделирования в программной среде Synopsys TCAD силовой тиристорной структуры приведены результаты исследования зависимостей напряжения переключения при различных способах параллельного шунтирования управляющего электрода. Выявлен наилучший вариант шунтирования управляющего электрода для достижения максимально возможной величины напряжения переключения в закрытом состоянии. Результаты исследования использованы при создании прибора для диагностики и контроля силовых тиристоров в закрытом состоянии.

Ключевые слова: *тиристорная структура, предельные режимы работы, шунтирование управляющего электрода, моделирование, Synopsys TCAD.*

Введение. Надёжность силовых тиристоров (СТ) при эксплуатации обуславливается множеством факторов. Одним из таких факторов является выбор способа шунтирования цепи управляющего электрода (ЦУЭ), от которой зависит величина предельного напряжения в закрытом состоянии – напряжения переключения U_{BR}, относительно которого выбирается импульсное повторяющееся напряжение $U_{DRM(RRM)}$ прибора в состоянии низкой проводимости. Величина напряжения $U_{DRM(RRM)}$ является предельно допустимой, превышение которой при эксплуатации повышает вероятность отказа тиристора. Предельные режимы работы СТ определяются максимально допустимыми напряжениями и токами, возникающими вследствие перенапряжения в цепи и в результате процесса включения и выключения, а также максимальной рассеиваемой мощностью и допустимой температурой T_j тиристорной структуры (ТС) прибора. Предельный режим работы СТ в закрытом состоянии при эксплуатации существенно зависит от способа шунтирования цепи управления, поэтому целью этой работы стало исследование влияния способа шунтирования цепи управления на напряжение переключения U_{BR}.

Программная среда для моделирования. Для исследования предельных режимов работы ТС при различных способах шунтирования управляющего электрода, была разработана трехмерная модель в программной среде приборно-технологического моделирования Synopsys TCAD [1]. Данная программа позволяет моделировать процессы формирования полупроводниковых структур и учитывает электрофизические процессы, протекающие во время работы ТС. Разработанная модель представляет структуру, состоящую из каскадного соединения вспомогательного маломощного тиристора *VS*1 и основного мощного тиристора *VS*2 (рисунок 1).

При моделировании из основной структуры отдельно выделены элементарные ячейки *VS*1 и *VS*2, позволяющие исследовать процессы протекающие в ТС. Элементарные ячейки представлены на рисунке 1.

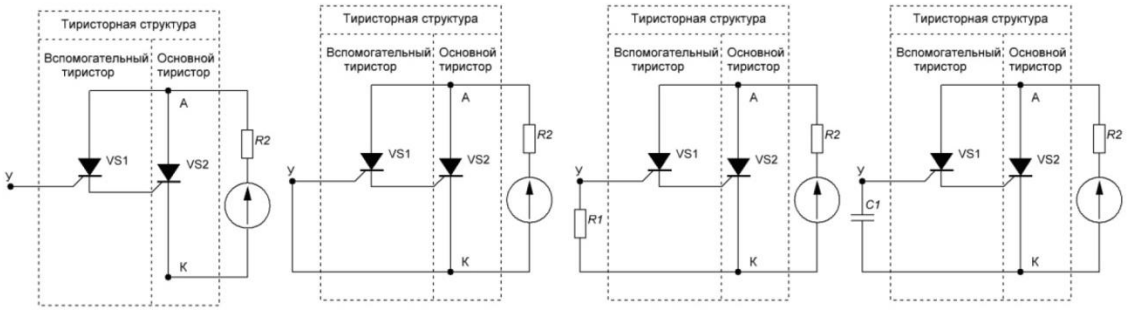


а) б)

Рис. 1 – Элементарные ячейки ТС а) *VS*1, б) VS2

Выше представленные элементарные ячейки *VS*1 и *VS*2 являются частью быстродействующей силовой ТС с $U_{DRM(RRM)}$ = 4 кВ, рассчитанную на величину повторяющегося напряжения в закрытом состоянии U_{DRM} = 2000 В, и максимальной скоростью нарастания напряжения du_D/dt = 1000 В/мкс. Эта ТС использовалась при моделировании для исследования предельных режимов работы силовых тиристоров.

Процесс моделирования проводился в режимах, реализованных по схемам которые представленным на рисунке 2.



а) б) в) г)

Рис. 2 – Функциональные схемы включения ТС при моделировании,
где варианты схем с шунтированием цепи УЭ: а) без внешнего шунтирования – схема 1;
б) с короткозамкнутым шунтом – схема 2; в) с резисторным шунтом – схема 3;
г) с шунтирование конденсатором – схема 4

Исследование ТС проводилось при температуре T_j равной 25ºС, 80ºС, и 125ºС для четырёх различных схем приведённых на рис. 2: схема 1 – без внешнего шунтирования; схема 2 УЭ закорочен на катод; схема 3 –УЭ подключен к катоду через резистор с сопротивлением равным 1 Ом, 10 Ом, 50 Ом и 100 Ом; схема 4 – УЭ подключен к катоду через конденсатор с ёмкость равной 0,25 мкФ, 0,5 мкФ и 1мкФ. Схемы на рисунке 2 представляют ТС в закрытом состоянии, которая включается по цепи управления от источника постоянного напряжения U_0 = 10 кВ, скорость нарастания напряжения dU_D/dt принималась равной стандартным величинам из рада значений равных 20 В/мкс, 50 В/мкс, 100 В/мкс, 200 В/мкс, 320 В/мкс, 500 В/мкс и 1000 В/мкс.

Результаты моделирования. По результатам моделирования ТС были получены зависимости напряжения включения U_{BR} от скорости нарастания напряжения du_D/dt на ТС в закрытом состоянии для выше приведенных схем включения при различной температуре полупроводниковых кристаллов T_j. На рисунке 3 представлены результаты исследования напряжения включения U_{BR} от скорости нарастания напряжения dU_D/dt ТС, для двух значений температуры полупроводниковых кристаллов T_j для всех испытательных схем.

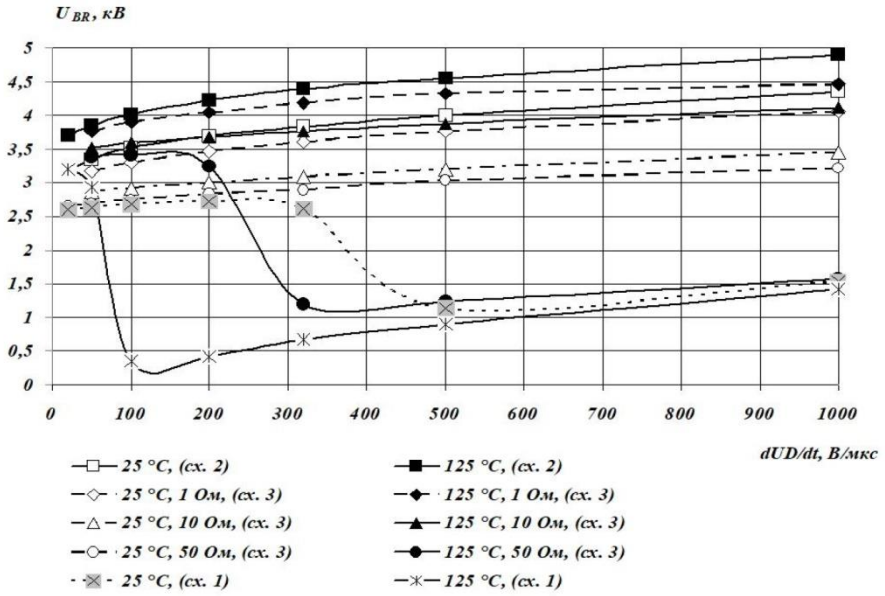


Рис. 3 – Зависимости напряжения включения U_{BR} от скорости нарастания напряжения dU_D/dt на ТС, для двух крайних значений температуры полупроводниковых кристаллов T_j в схемах 1 – 3

Зависимости, напряжения включения U_{BR} от скорости нарастания напряжения *du/dt* ТС, изображенные на рисунке 3, показывают, что в схеме 2 включения рис. 2, б (управляющий электрод закорочен на катод), при температурном режиме 25 ºС, 80 ºС, 125 ºС позволяет выдерживать напряжения до 4,5-5 кВ, что существенно больше, чем при испытаниях в других схемах испытания.

В работе была исследована также схема включения ТС показанная на рис. 2, г, где параллельно цепи управления подключён конденсатор. Эта схема достаточно часто реализуется в устройствах силовой электроники на основе СТ для устранения проблемы переключения от возникающих в преобразователях электромагнитных помех. Результаты исследования напряжения включения U_{BR} от скорости нарастания напряжения dU_D/dt ТС при температуре ТС T_j равной 25ºС и 125ºС, представлены на рисунке 4.

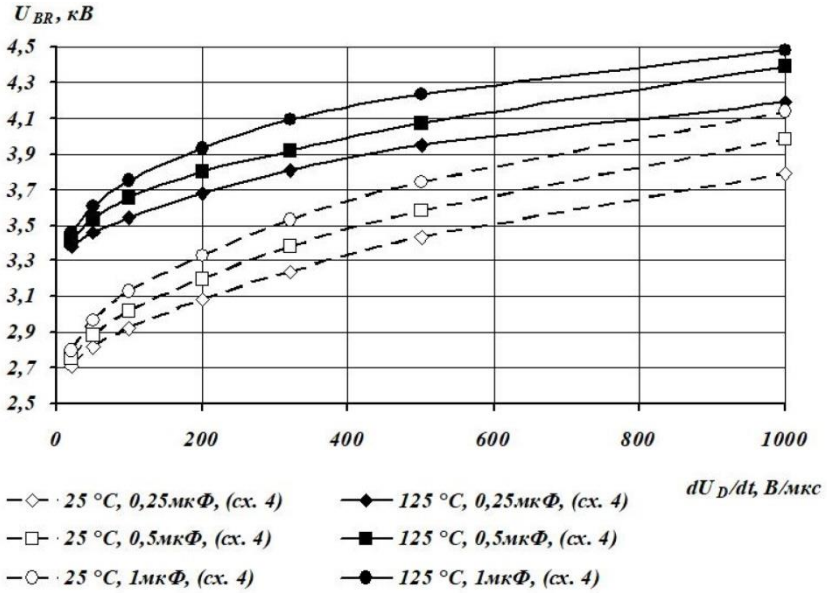


Рис.4 – График зависимости напряжения включения U_{BR} от скорости нарастания напряжения dU_D/dt на ТС, для двух крайних значений температуры полупроводниковых кристаллов T_j в схеме 4

Результаты исследования напряжения включения U_{BR} от скорости нарастания напряжения dU_D/dt ТС представленные на рисунке 4, показывают, что ТС переключаются при напряжении U_{BR} в среднем 4 кВ, что несколько меньше, чем в предельном напряжении U_{BR} достигаемом в схеме 2 (рис. 2, б – управляющий электрод закорочен на катод). Использование схемы 4 показывает достижение величин напряжения включения U_{BR} близкие к результатам испытания в схеме 2, однако при такой схеме использования ТС существенно снижается скорость нарастания тока управления в цепи управляющего электрода за счёт шунтирования этой цепи конденсатором. Это обуславливает снижение площади области начального включения, что в свою очередь, ведёт к повышению коммутационных потерь и, соответственно, к дополнительному импульсному перепаду температуры T_j в ней, что существенно повышает вероятность отказа СТ при эксплуатации [2-4].

Заключение. Результаты исследования использованы при создании прибора для диагностики и контроля силовых тиристоров в закрытом состоянии.

Список литературы

1. *Горячкин Ю. В.* Физико-топологическое моделирование в САПР TCAD / Ю. В. Горячкин, С. А. Нестеров, Б. П. Сурин. – Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2006. – 124 с.

2. *Беспалов Н. Н.* Путь повышения надежности силовых тиристоров, использующихся при высокой скорости нарастания тока в открытом состоянии / Н. Н. Беспалов, Ю. М. Голембиовский, М. Н. Байбиков // Вестник СГТУ. – 2006. – № 6. – С. 74-79.

3. *Беспалов Н. Н.* Причины отказов силовых тиристоров в режимах включения с высокими значениями скорости нарастания тока в открытом состоянии / Н. Н. Беспалов // Силовая электроника. – 2005. – № 4. –С. 15-17.

4. *Абрамович М. И.* Диоды и тиристоры в преобразовательных установках / М. И. Абрамович, В. М. Бабайлов, В. Е. Либер и др. – М. : Энергоатомиздат, 1992. – 432 с.

5. *Блихер А.* Физика тиристоров / А. Блихер; под ред. И. В. Грехова. – Л. : Энергоиздат, 1991. – 264 с.

05.11.13

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

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

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРЯМЫХ ВОЛЬТ-АМПЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДИОДНЫХ СТРУКТУР МИКРОСХЕМЫ КТ101

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-5-109-112

В статье исследуется один из термочувствительных параметров полупроводниковых приборов – прямое напряжение на p–n переходе коллектор-база транзисторов кристалла микросхемы КТ101 на основе моделирования электрических и тепловых процессов в ней в программной среде Synopsys TCAD. По зависимостям прямого напряжения от температуры полупроводникового кристалла микросхемы при различных значениях прямого тока исследуется чувствительность этого параметра от температуры кристалла.

Ключевые слова: *тепловое сопротивление, термочувствительный параметр, p–n переход, вольт-амперная характеристика, температура, микросхема, транзистор, диод.*

Введение. Тепловое сопротивление R_{th} полупроводниковых приборов (ПП) в установившемся режиме является одним из важнейших их параметров, по величине которого можно оценивать их качество изготовления, температуру кристалла T_j в различных режимах эксплуатации и проводить отбраковку потенциально ненадёжных приборов. ОСТ 11 0944-96 [1] устанавливает три основных метода определения величины R_{th} микросхем. Одним из методов является метод определения R_{th} микросхем с контролем температуры кристалла T_j по величине термочувствительного параметра (ТЧП). Данный метод основан на контроле T_j по изменению ТЧП при рассеянии в кристалле электрической мощности. В качестве ТЧП для измерения T_j микросхем используется прямое напряжение U_F на *p–n* переходе одного из охранных диодов или активного элемента структуры при протекании тестового прямого тока I_F.

При протекании прямого тока I_F всегда происходит разогрев кристалла микросхемы, что приводит к смещению вольт-амперной характеристики (ВАХ) диодной структуры в прямом направлении. В связи с этим при использовании в качестве ТЧП прямого напряжения U_F важен выбор величины тестового прямого тока I_F, при котором проверяемая структура, во-первых, дополнительно не перегревается и, во-вторых, при этой величине тока достигается максимальная чувствительность ТЧП от температуры T_j.

Экспериментальное исследование ВАХ диодных структур ПП при повышенных температурах требует наличия специальной термокамеры и специальной высокоточной измерительной аппаратуры, которые являются достаточно дорогостоящими. Кроме того, точно измерить температуру T_j внутри кристалла практически невозможно. Поэтому возникает потребность в дополнительном инструменте, с помощью которого возможно анализировать зависимости характеристик приборов от режимов работы и температуры. В настоящее время таким инструментом является компьютерное приборно-технологическое моделирование, которое стало повсеместно доступным за счёт бурного развития компьютерной техники [2].

Целью нашей работы было исследование чувствительности ТЧП – прямого напряжения U_F на p–n переходе активного элемента в кристалле микросхемы КТ101 при протекании прямого тока I_F в программной среде приборно-технологического моделирования Synopsys TCAD [3]. В этой программной среде используются дрейфово-диффузионная и термодинамическая модели, благодаря чему есть возможность проводить моделирование ВАХ активного элемента с учётом и без учёта эффекта саморазогрева от протекающего прямого постоянного тока I_F.

Разработка модели кристалла микросхемы КТ101. Кристалл микросхемы КТ101 представляет собой два биполярных n–p–n транзистора, соединенных между собой коллекторами.

Разработка модели кристалла осуществлялась в программе Structure Editor [4]. На рисунке 1, а показан общий вид модели кристалла микросхемы с основанием корпуса. На рисунке 1, б показана модель кристалла. Размеры кристалла 750×750×400 мкм. На рисунке 1, в показано распределение концентрации легирующей примеси в верхней части кристалла в области p–n перехода коллектор-база транзисторов.

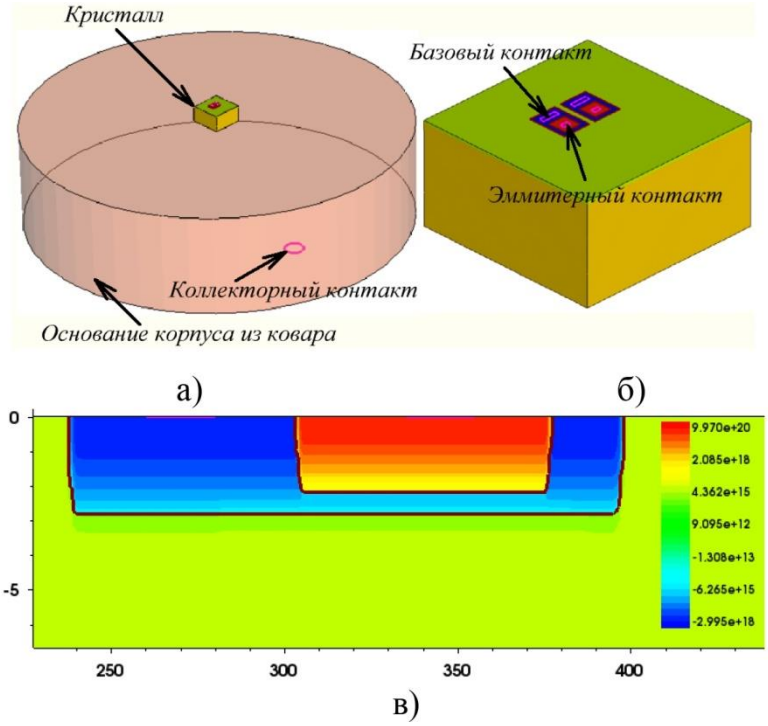


Рис. 1 – Общий вид модели кристалла микросхемы с основанием корпуса (а), модель кристалла микросхемы (б), распределение концентрации легирующей примеси в структуре транзистора (в)

Модель учитывает эффекты высокого уровня инжекции (электронно-дырочное рассеяние и Оже-рекомбинацию), влияние концентрации легирующей примеси на подвижность, время жизни носителей заряда, собственную концентрацию носителей заряда и эффекты, связанные с неодномерным по объёму тепловым разогревом структуры под действием протекающих токов. Подробное описание этих эффектов приведено в [5].

Моделирование ВАХ p–n-переходов коллектор-база транзисторов. Моделирование проводилось в программе Sentaurus Device [6] при значениях температуры кристалла T_j равных +25°С, +50°С, +85°С и +125°С с учётом и без учета эффекта саморазогрева от протекания прямого постоянного тока I_F. Результаты моделирования при температуре T_j равной +25°С и +125°С приведены на рисунке 2.

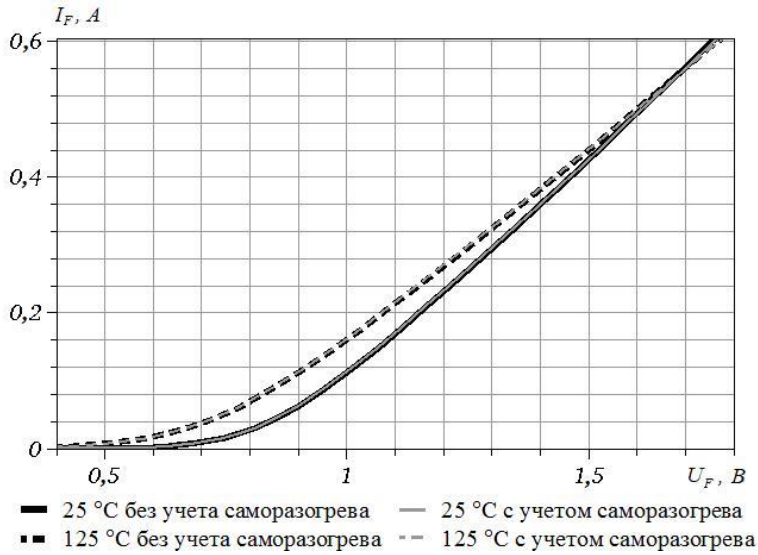


Рис. 2 – ВАХ *p–n* переходов коллектор-база транзисторов микросхемы

Из рисунка 2 определено, что точка инверсии ВАХ без учёта и с учётом эффекта саморазогрева достигается, соответственно при I_F=544 мА и I_F=550 мА. Из этих графиков видно, что для данных микросхем ВАХ слабо зависят от эффекта саморазогрева. Оценка относительной погрешности при этом не превышает величины 0,35% при токе I_F=200 мА, 0,1% при токе I_F=550 мА и 0,01% при токе I_F=1 мА. Это свидетельствует о несущественности влияния эффекта саморазогрева для исследуемой микросхемы на результаты измерений параметров ВАХ в пределах изменения T_j от +25°С до +125°С.

По результатам моделирования ВАХ получены зависимости напряжения U_F *p–n* перехода коллектор-база транзистора микросхемы от T_j в пределах изменения от +25°С до +125°С при различных значениях постоянного прямого тока I_F в диапазоне от 1 мА до значений токов в зоне инверсии ВАХ (рис. 3) с учётом и без учёта эффекта саморазогрева (рис. 3).

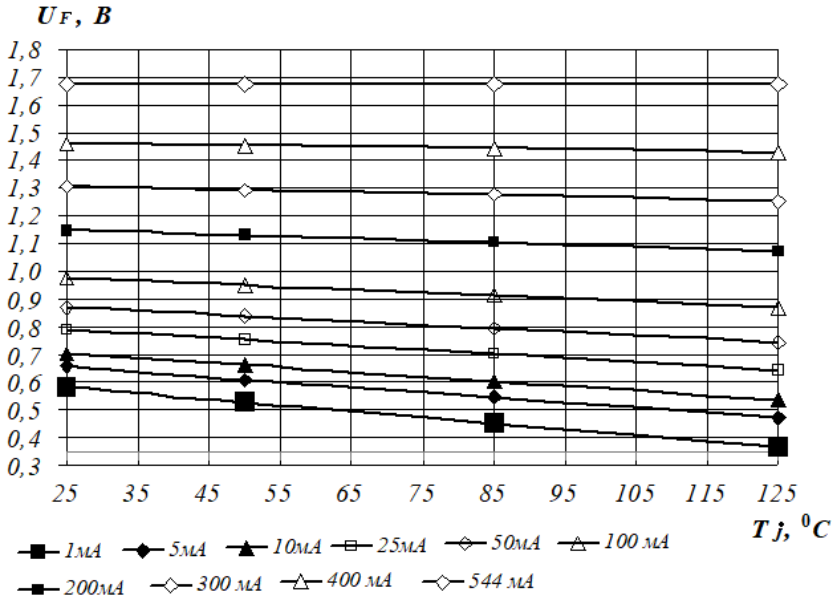


Рис. 3 – Зависимости напряжения U_F на *p–n* переходе коллектор-база транзистора микросхемы от T_j при различных значениях I_F

Из этих графиков видно, что эти зависимости линейны, что подтверждает возможность применения прямого напряжения U_F в качестве информативного параметра для определения температуры T_j полупроводникового кристалла. Однако чувствительность этого параметра, которая определяется как температурный коэффициент напряжения ТКН=$\Delta U_F/\Delta T_j$, существенно завит от величины прямого постоянного тока I_F.

С целью оценки чувствительности этого параметра по данным моделирования получен график зависимости ТКН от температуры T_j полупроводникового кристалла, представленного на рисунке 4. Из этой зависимости видно, что максимальная величина ТКН достигается при прямом постоянном токе I_F = 1 мА и равна –2,2 мВ/°С. При этом с увеличением величины прямого тока ТКН резко уменьшается. Так, например, при токе I_F = 100 мА величина ТКН равна уже –1,1 мВ/°С и далее стремится к нулю, которого достигает при I_F = 550 мА.

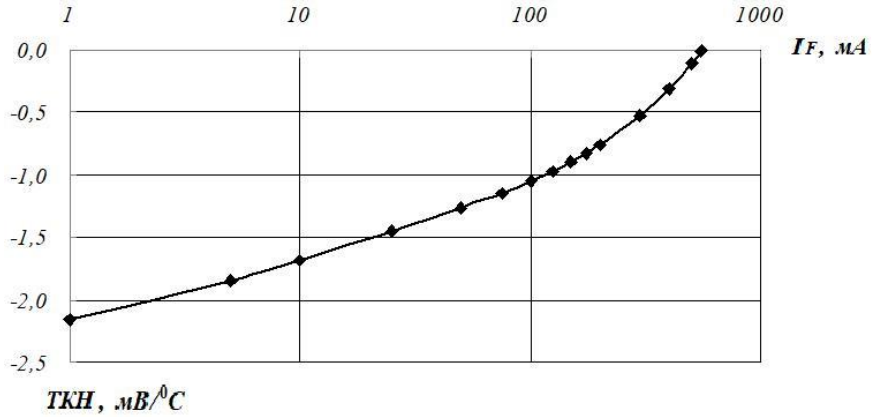


Рис. 4 – Зависимость ТКН от прямого тока I_F

Заключение. На основании исследований определенно, что при прямом токе I_F = 1 мА достигается максимальная величина ТКН и при этом не наблюдается эффекта саморазогрева микросхемы КТ101 при испытании. Результаты работы будут использованы при разработке устройства для определения электротепловых параметров и характеристик микросхем.

Список литературы

1. ОСТ 11 0944-96. Микросхемы интегральные и полупроводниковые приборы. Методы расчеты, измерения и контроля теплового сопротивления. М. : ГУП НПП Пульсар, 1997. – 110 с.
2. Использование компьютерного моделирования в производстве силовых полупроводниковых приборов. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.protonelectrotex.com/files/project_52/Kompiuternoe_modelirovanie.pdf.
3. Technology Computer Aided Design (TCAD). – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.synopsys.com/silicon/tcad.html.
4. Structure Editor. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.synopsys.com/silicon/tcad/structure-editor.html.
5. Горячкин Ю. В. Физико-топологическое моделирование в САПР TCAD / Ю. В. Горячкин, С. А. Нестеров, Б. П. Сурин. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2006. – 124 с.
6. Sentaurus Device. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.synopsys.com/silicon/tcad/device-simulation/sentaurus-device.html.

05.11.16

Н.Н. Беспалов канд. техн. наук, М.В. Ильин канд. техн. наук,
А.В. Мускатиньев канд. техн. наук

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

АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ СИЛОВЫХ ТИРИСТОРОВ И ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЦЕПИ УПРАВЛЕНИЯ

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-5-113-115

В статье рассматривается аппаратно-программный комплекс, созданный на базе компьютерных технологий для испытания силовых тиристоров и измерения следующих параметров цепи управления –отпирающего постоянного тока управления I_{GT} и отпирающего постоянного напряжения управления U_{GT}.

Ключевые слова: *аппаратно-программный комплекс, силовой тиристор, параметры цепи управления, отпирающий постоянный ток управления, отпирающее постоянное напряжение управления.*

Введение. Испытание силовых тиристоров (СТ) и измерение их параметров цепи управления является важным процессом для диагностики и контроля их качества на всех этапах жизненного цикла. К таким параметрам критериям качества СТ относятся отпирающий постоянный ток I_{GT} и отпирающее постоянное напряжение U_{GT} на управляющем электроде. Использование этих параметров позволяет оценить прежде всего качество изготовления электродов управления СТ, а также их помехоустойчивость. В статье рассматривается аппаратно-программный комплекс (АПК), выполняемый в настоящее время под названием АДИП-4, который предназначен для испытания СТ, измерения параметров цепи управлении I_{GT} и U_{GT}, контроля и диагностики их качества по этим параметрам. Применяется стандартная методика испытания [1].

Структура АПК. Структурная схема АПК для испытания СТ и измерения I_{GT} и U_{GT} испытуемых СТ (ИСТ) представлена на рисунке 1.

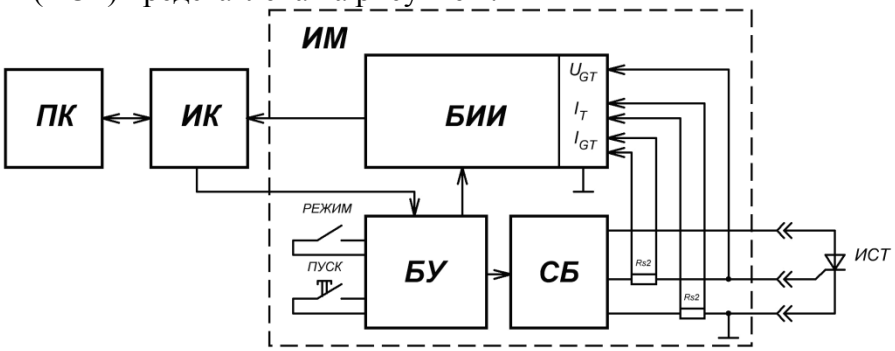


Рисунок 1 – Структурная схема АПК

АПК состоит из испытательного модуля (ИМ), интерфейсного контроллера (ИК) и персонального компьютера (ПК). При этом ИМ состоит из силового блока (СБ), блока управления (БУ) и блока измерения и индикации (БИИ).

ИСТ подключается непосредственно к ИМ, который и задаёт требуемый электрический режим с помощью СБ. Блок БУ формирует управляющие сигналы для СБ и БИИ. Блок БУ имеет специальные управляющие входы, которые определяют режим управления ИМ. Блоком ИМ возможно управлять в двух режимах: ручном и автоматическом. Переключение между режимами управления осуществляется переключателем «Режим». В случае выбора ручного режима, запуск измерения осуществляется с помощью кнопки «Пуск». Автоматический режим подразумевает запуск процесса измерения с ПК. Передача результатов измерения в ПК возможна только в автоматическом режиме.

Метод испытания и измерения параметров I_{GT} и U_{GT} изложен в стандарте [1]. При разработке АПК частично использовались материалы, изложенные в [2-4].

На рисунке 2 представлены временные диаграммы электрических сигналов в цепях ИСТ при испытании.

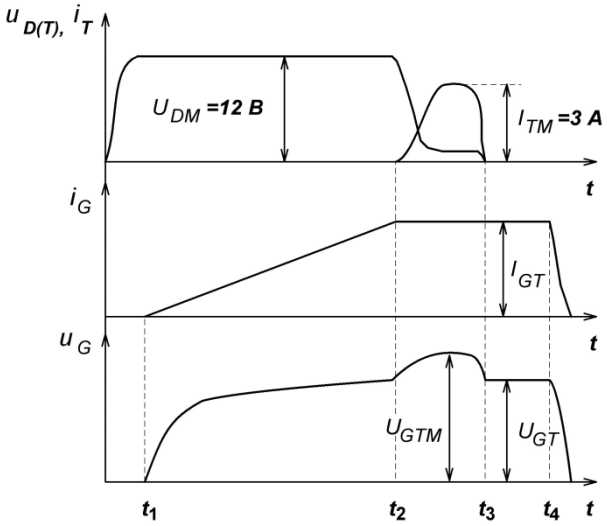


Рисунок 2 – Временные диаграммы электрических сигналов при испытании ИСТ, поясняющие работу АПК

Работа АПК осуществляется следующим образом. Предварительно на силовые выводы ИСТ в закрытом состоянии подается начальное напряжение U_{DM}=12 В. С момента t_1 начинает формироваться медленно нарастающий ток i_G в управляющей цепи. В момент t_2 ИСТ включается, что приводит к резкому увеличению тока i_T в анодной цепи до амплитуды I_{TM}=3 А и, соответственно, падению напряжения на управляющем электроде до амплитуды U_{GTM}, величина которой больше измеряемой величины U_{GT}. Далее в момент t_3 источник анодного напряжения отключается и после прекращения протекания тока i_T происходит снижение напряжения на управляющем электроде. При этом одновременно измеряются параметры I_{GT} и U_{GT}. В момент t_4 процесс испытания заканчивается. При этом на трёхразрядных цифровых табло БИИ высвечиваются значения измеряемых параметров.

В автоматическом режиме обмен информацией между ПК и ИМ осуществляется через ИК. Блок ИК соединяется с ПК по сети Ethernet, а соединение с ИМ реализовано с помощью цифровых линий контроллера. ИК принимает управляющие команды от ПК и преобразует их в соответствующие управляющие импульсы для ИМ. Измерительная информация передаётся в ИК от ИМ в виде импульсов определённой длительности. ИК измеряет длительность импульсов и передаёт значения в виде кода в ПК.

Для осуществления процесса измерения на ПК развёрнуто собственное программное обеспечение (ПО). На ПО возложен выполнение ряда следующих функций:

– предоставление оператору графического пользовательского интерфейса (ГПИ);
– управление ИМ и получение от него измерительной информации;
– сохранение измерительной информации в базе данных;
– генерацию отчётов по результатам испытания;
– ведение библиотеки ИСТ;
– администрирование учётных записей операторов;
– резервное копирование и восстановление базы данных.

Взаимодействие оператора с АПК осуществляется через ГПИ. Основное предназначение ГПИ предоставить интерфейс для взаимодействия с функциональными программными модулями, такими как модуль сетевого взаимодействия, модуль для работы с базой данных, модуль формирования отчёта и модуль администрирования учётных записей.

Взаимодействие оператора с ИМ осуществляется через программный сетевой модуль, который позволяет задать сетевые настройки интерфейсного контроллера, устанавливать связь с ним, предавать управляющие команды и принимать измерительную информацию.

Результаты испытания сохраняются в базе данных. Испытательный комплекс разрабатывался для предприятий железнодорожного транспорта, поэтому база данных содержит информацию не только о тиристорах, но и о преобразователях локомотивов в которых они эксплуатируются. Информация организована в виде библиотеки, и оператор имеет возможность её редактировать и использовать при испытании. Программный модуль для работы с базой данных содержит специальный функционал для фильтрации и поиска результатов испытания для более удобной работы с массивом данных.

Программный модуль генератора отчётов принимает выбранные из базы данных результаты испытаний и на их основе формирует отчёт в виде страницы для Web-браузера. Затем с помощью виртуального принтера можно создать отчёт в виде pdf файла, либо вывести его на печать на реальный принтер.

Для предотвращения потери накопленных измерительных данных в программном обеспечении созданы инструменты для резервного копирования и восстановления базы данных. В результате работы инструмента резервного копирования создаётся архивный файл, содержащий дамп базы данных, который затем может быть перенесён на другой физический носитель информации или загружен в облачное хранилище. Для восстановления базы данных требуется указать расположение архивного файла, который будет распакован и данный из дампа будут загружены в базу данных.

Для повышения безопасности целостности данных используется политика прав доступа к функционалу испытательного комплекса. На уровне программного обеспечения выбираются доступные опции для каждого конкретного оператора. Для операторов создаются учётные записи, в которых и определяется права доступа. Комбинация прав доступа складывается из следующих опций: доступ к измерительным функциям комплекса, просмотр базы данных, запись информации в базу данных, редактирование библиотеки, редактирование учётных записей.

Далее планируется совершенствование ПО для проведения операций диагностики качества ИСТ по измеренным параметрам .

Заключение. В процессе работы разработан АПК АДИП-4, который обеспечивает:

– измерение отпирающего постоянного тока управления I_{GT} СТ в пределах от 10 до 600 мА;

– измерение отпирающего постоянного напряжения управления U_{GT} СТ в пределах от 0,50 В до 6,00 В;

– погрешность измерения I_{GT} и U_{GT} не более 2,5%;

– управление и обработку информации в ПК.

Далее планируется совершенствование ПО для проведения операций диагностики качества ИСТ по измеренным параметрам с целью выявления тиристоров с дефектами изготовления электродов управления.

Список литературы

1. ГОСТ 24461-80 (СТ СЭВ 1656-79). Приборы полупроводниковые силовые. Методы измерений и испытаний; введен с 01.01.82. – М. : Изд – во стандартов, 1981. – 55 с.

2. *Беспалов Н. Н.* Диагностика и контроль параметров силовых полупроводниковых приборов / Н. Н. Беспалов, А. В. Мускатиньев, М. В. Ильин // Методы и средства управления технологическими процессами: МСУПТ – 2007: материалы IV Междунар. конф., Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2007. – С. 88-91.

3. *Беспалов Н. Н.* Программная реализация управляющих импульсов напряжения прямоугольной формы на ПЛИС / Н. Н. Беспалов, Ю. В. Горячкин, Д. В. Тундыков // Научно-технический вестник Поволжья. – 2016. – Вып. 5. – С. 166-169.

4. *Беспалов Н. Н.* Программная реализация управляющего устройства на ПЛИС для обмена данными по интерфейсу SPI / Н. Н. Беспалов, Ю. В. Горячкин, Д. В. Тундыков // Научно-технический вестник Поволжья. – 2016. – Вып. 3. – С. 75-78.

05.11.13

Н.Н. Беспалов канд. техн. наук, А.В. Мускатиньев канд. техн. наук

Национальный исследовательский Мордовский государственный университет
имени Н. П. Огарева, институт электроники и светотехники,
кафедра электроники и наноэлектроники,
Саранск, ka-mgu@mail.ru

ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ПРЯМОГО ПАДЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ НА СИЛОВЫХ ТИРИСТОРАХ И ДИОДАХ

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-5-116-118

В статье рассматриваются факторы, влияющие на точность измерения импульсного падения напряжения силовых полупроводниковых приборов (СПП). Показано, что существенное влияние на результат измерения оказывает форма испытательного импульса тока. Предлагается оптимальная форма с учетом электрофизических особенностей СПП.

Ключевые слова: *силовой тиристор, силовой диод, импульс тока.*

В настоящее время проявляется устойчивая тенденция использования при разработке мощных преобразовательных устройств современных силовых приборов, таких как MOSFET и IGBT транзисторов. Тем не менее традиционные силовые полупроводниковые приборы – диоды и тиристоры в силу своей стойкости к многократным перегрузкам по току широко применяются в отраслях промышленности, где предъявляются повышенные требования к надежности и долговечности преобразовательных установок. Указанные требования предъявляют к преобразователям, используемым в подвижном составе (метро, магистральные электровозы), в дуговых печах для плавки металлов, в гальванотехнике и при электролизе металлов.

Диагностика и контроль параметров СПП выполняется как на стадии изготовления силовых приборов, так и в процессе их эксплуатации в преобразователях. Для этого применяется специальная аппаратура зарубежного и отечественного исполнения, среди которой прибор для измерения прямого падения напряжения на СПП является одним из самых востребованных в промышленности. Это объясняется тем, что во многих случаях при производстве преобразователей энергии возникает необходимость параллельного соединения СПП с целью обеспечения необходимой мощности в нагрузке. В настоящее время основным способом равномерного распределения токов в параллельно соединенных ветвях является подбор СПП по импульсному прямому падению напряжения на тиристорах U_{TM} (U_{FM} – на диодах) с точностью ± 20 мВ.

Для измерения прямого падения напряжения U_{TM} (U_{FM}) в соответствии с [1] через испытуемый прибор необходимо пропустить однократный импульс тока полусинусоидальной формы, с амплитудой в π раз больше предельного значения I_T (I_F), и длительностью по основанию равной 10 мс (рис. 1 а). Измерение U_{TM} (U_{FM}) выполняют при амплитудном значении испытательного тока. Измерительные установки с такими параметрами обладают значительными массогабаритными показателями и применяются на заводах-изготовителях СПП. Измерительная аппаратура для организаций, эксплуатирующих и разрабатывающих преобразователи энергии, отличается большим разнообразием, проявляющимся, в основном, в построении силовой части, основу которой составляет генератор импульсов испытательного тока. Главная цель, преследуемая при построении такого генератора – улучшение массогабаритных показателей за счет уменьшения его веса.

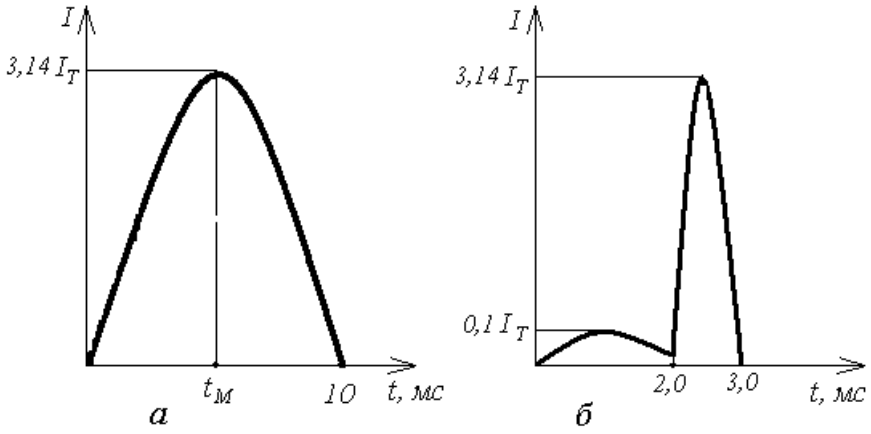


Рис. 1 – Форма испытательных импульсов тока для измерения параметров U_{TM} (U_{FM})

В начале 70-х годов объединенный комитет инженеров по электронным приборам – JEDEC (США), занимающийся вопросами стандартизации испытаний полупроводниковых приборов, сформулировал требования к силовой схеме генератора тока с коротким испытательным импульсом тока, применение которого позволяет измерить какой-либо параметр (в частности, заряд обратного восстановления) мощного тиристора, нагревающегося в процессе измерения в меньшей степени. Необходимым условием измерения являлось предварительное формирование перед основным силовым импульсом небольшого по амплитуде импульса тока накачки («полки тока») с целью полного включения СПП по всей площади структуры [2]. Указанная концепция была распространена и на параметры U_{TM} (U_{FM}) [3]. Существенного уменьшения массы генератора с формой импульса тока, показанного на рис. 1, б, как это было заявлено в [3], добиться достаточно сложно, так как для получения синусоидальной формы импульса с амплитудой, существенно превышающей предельное значение тока тиристора, необходимо было применять высоковольтные неполярные накопительные конденсаторы и массивный дроссель контура. Получение синусоидальной формы силового импульса тока (рис. 1. б) возможно только в контуре с малым затуханием, в котором омическое сопротивление $R_к$ меньше волнового сопротивления ρ контура, состоящего из индуктивности L и емкости C, что обеспечивается при условии [4]:

$$R_{\text{к}} << 2\rho \text{ , или } \quad R_{\text{к}} << 2/(\sqrt{L/C}) . \tag{1}$$

Тогда амплитуда силового тока $I_м$ может быть задана напряжением заряда U_C накопительных конденсаторов контура как:

$$I_м = U_C / \rho . \tag{2}$$

На практике условие (1) – трудновыполнимое, поэтому амплитудное значение тока силового контура, в общем случае, будет определяться по формуле [4]:

$$I_м = \frac{2U_C\sqrt{C}}{\sqrt{4L - R_к^2 C}} \cdot e^{-\frac{\pi \cdot R_к}{4}\sqrt{\frac{C}{L}}} \sin\frac{\pi}{2}\sqrt{1 - \frac{R_к^2 C}{4L}} , \tag{3}$$

Из формулы (3) можно видеть, что амплитуда силового тока зависит от множества аргументов, временная и температурная нестабильность которых может искажать величину измеряемого параметра U_{TM} (U_{FM}).

Повысить стабильность амплитуды тока позволяет генератор, формирующий импульс силового тока, показанный на рис. 2 а.

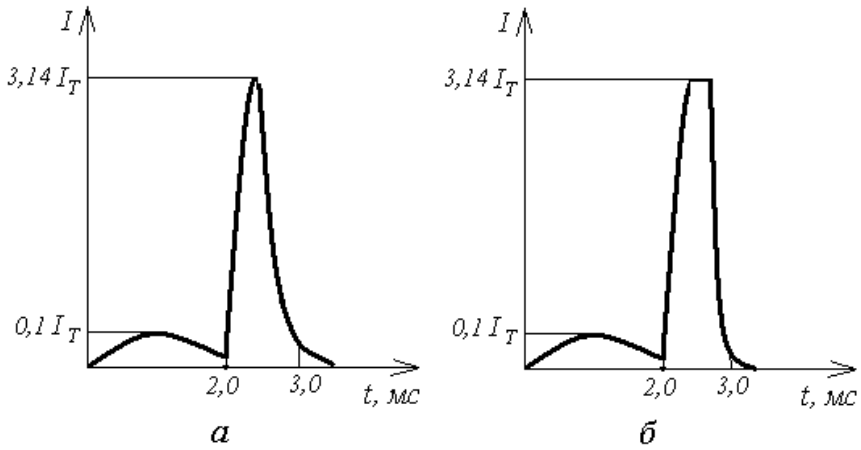


Рис. 2 – Форма испытательных импульсов тока с повышенной стабильностью амплитуды

Особенностью работы генератора [5] является ответвление испытательного тока от нагрузки в момент достижения заданного значения. Для реализации такого режима требуется перезаряд накопительных конденсаторов контура на *(5 – 10)%* выше требуемого значения.

Известно, что особенностью СПП является сильная зависимость статических и динамических параметров от температуры, в том числе и U_{TM} (U_{FM}). Кроме этого, существует отрицательный фазовый сдвиг между испытательным током и падением напряжения на СПП [6, 7], обусловленный тепловой инерцией и наличием диффузионной емкости СПП. Тогда измерение параметров U_{TM} (U_{FM}) в момент амплитудного значения испытательного тока может привести к заниженным результатам. Формирование пологой части, «полки», на уровне амплитудного значения тока (рис. 2, б) позволяет избежать этой погрешности. Подобный приём также используется при формировании тестового трапецеидального токового импульса, используемого в автоматизированном измерительном модуле [8].

Список литературы

1. ГОСТ 24461-80 (СТ СЭВ 1656-79). Приборы полупроводниковые силовые. Методы измерений и испытаний; введен с 01.01.82. – М. : Изд – во стандартов, 1981. – 55 с.

2. *Мускатиньев А. В., Афонин В. В.* Проектирование генератора испытательного тока для аппаратуры измерения заряда обратного восстановления силовых тиристоров. // Электротехнические комплексы и системы управления. 2015. № 3. С. 58– 61.

3. А.с. 658971 СССР, МКИ G01 R31/26. Способ измерения прямого падения напряжения тиристоров // *Долгих В. А., Таратута И, П., Сальмани М. А., Гуревич М. К.* Приоритет 14.06.76. Опубликовано: 07.12.83. Бюл. №45.

4. Справочник по радиоэлектронике в трех томах. Под общ. редакцией *Куликовского А. А.* Том 1. – М. : Энергия, 1967.– 648 с.

5. *Мускатиньев А. В.* Генераторы импульсного тока для подбора силовых тиристоров и диодов при параллельном включении. // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. Научно-методический журнал. Пенза: Пенз. гос. технол. ун-т. – 2017.– № 04(38). – С. 86 – 91.

6 *Рабинерсон А. А., Ашкинази Г. А.* Режимы нагрузки силовых полупроводниковых приборов. – М. : Энергия, 1985. – 296 с.

7. *Беспалов Н. Н.* Определение электрической энергии потерь в силовых диодах в состоянии высокой проводимости при различных значениях температуры полупроводниковой структуры // Н. Н. Беспалов, С. С. Капитонов, М. В. Ильин, А. В. Евишев А. В. Научно-технический вестник Поволжья. 2015. № 6. С. 86–89.

8. *Полещук А.* Методы повышения качества измерения характеристик СПП в области статических потерь. // Силовая Электроника. – 2012.– № 4. – С. 14 – 16.

05.11.13

Н.Н. Беспалов канд. техн. наук, А.В. Мускатиньев канд. техн. наук, П.М. Дёмкин

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

УПРАВЛЯЕМЫЙ ГЕНЕРАТОР ИМПУЛЬСОВ НАПРЯЖЕНИЯ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ СИЛОВЫХ ТИРИСТОРОВ В СОСТОЯНИИ ВЫСОКОЙ ПРОВОДИМОСТИ

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-5-119-121

В статье рассматривается работа программируемого генератора импульсов напряжения управления процессом испытания силовых тиристоров и диодов при измерении параметров вольт-амперной характеристики в состоянии высокой проводимости.

Ключевые слова: *генератор импульсов, силовой тиристор, силовой диод, вольт-амперная характеристика.*

Введение. Устройства силовой электроники (УСЭ) на основе полупроводниковых приборов (СПП) (силовых тиристоров и силовых диодов) широко применяются в электроэнергетике, металлургии и на железнодорожном транспорте. При создании УСЭ в качестве мощных преобразователей электрической энергии часто применяются групповые параллельные соединения СПП, поэтому надёжность преобразователя в целом, определяется надёжностью каждого отдельного СПП в его составе. Для повышения надёжности преобразователя, при его создании, СПП должны быть испытаны и подобраны по определённым параметрам вольт-амперных характеристик (ВАХ) в состояниях высокой проводимости (СВП) [1, 2]. Это необходимо для обеспечения близкого к номинальным тепловым и электрическим режимам их работы во время эксплуатации [3].

Для определения *ВАХ* используются специальные аппаратно-программные комплексы (*АПК)*. Структурная схема одного из таких комплексов разрабатываемых нами представлена на рис. 1. Составной частью устройства испытания силовых тиристоров (*УИСТ*) в *СВП* является управляемый генератор импульсов напряжения (*УГИН*). Статья посвящена описанию разработанного *УГИН*.

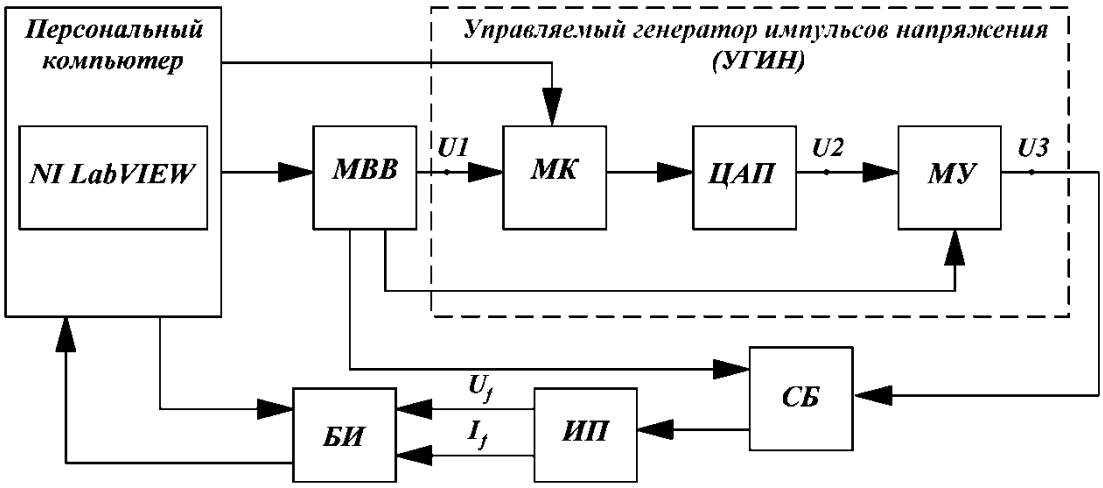


Рис. 1. Структурная схема устройства для испытания силовых тиристоров в состоянии высокой проводимости

Обозначения, представленные на рис. 1: *МВВ* – модуль ввода/вывода, *МК* – микроконтроллер, *ЦАП* – цифро-аналоговый преобразователь, *МУ* – масштабирующий усилитель, *СБ* – силовой блок, *ИП* – испытуемый прибор, *БИ* – блок измерительный.

Принцип работы данной схемы состоит в следующем.

Этап 1 – этап подготовки УИСТ к пуску.

Оператор задаёт параметры работы составных частей *УИСТ*, таких как *УГИН, БИ, СБ*. Задание параметров работы происходит в управляющей программе, реализованной на персональном компьютере (*ПК*) в среде разработки NI LabVIEW. После выбора параметров работы *УГИН, СБ, БИ*, по команде оператора, управляющая программа формирует пакет данных содержащий в себе информацию о параметрах работы и передаёт его в *УГИН, СБ* и *БИ*. Сформированный пакет данных через разъемы *ПК* передаётся в *УГИН, СБ* и *БИ*. Связь между *ПК* и *БИ* осуществляется через разъём *LPT*. Связь между *ПК* и *СБ* осуществляется через *МВВ*, который связан с *ПК* через разъём *LPT*. Из рис. 1. видно, что *УГИН* состоит из *МК, ЦАП* и *МУ*. Связь *УГИН* и *ПК* осуществляется через порт *USB* и через *МВВ*. Через порт *USB* передаются данные в *МК*, а через *МВВ* передаются данные в *МУ*.

Этап 2 – этап работы УИСТ.

После подготовки *УИСТ* к пуску, оператор в управляющей программе подаёт сигнал на запуск *УИСТ*. ПК через разъём *LPT* передаёт информацию о запуске в *МВВ*. *МВВ* формирует сигнал запуска *U*1 (рис. 2), который подаётся на вход *МК* управляющего *УГИН*.

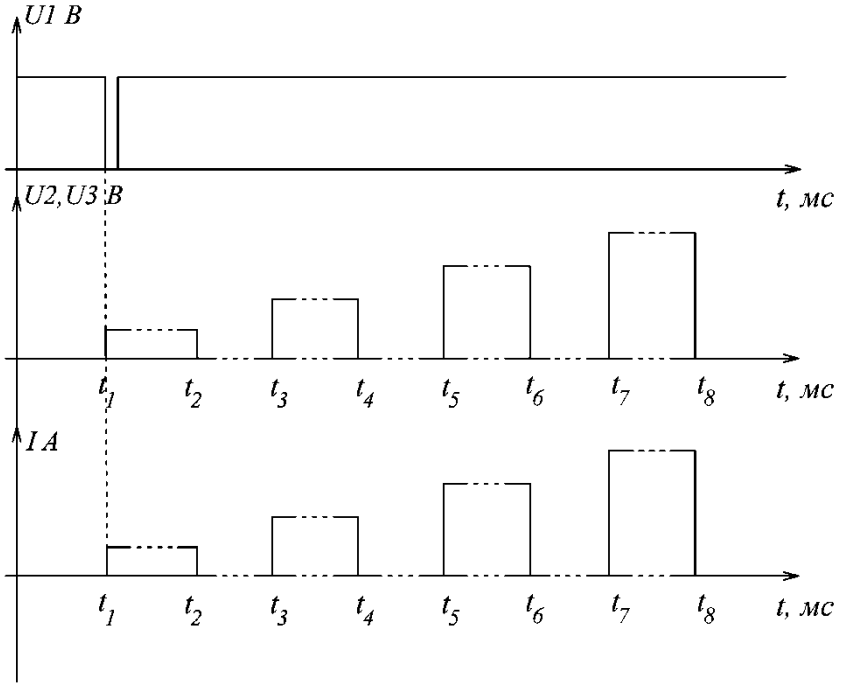


Рис. 2. Временные диаграммы импульсов напряжения генерируемых УГИН

При поступлении пускового сигнала на вход *МК*, происходит реализация программы генерации последовательности импульсов содержащейся в *МК*. *МК* генерирует 12-битный цифровой код соответствующий первому импульсу и через интерфейс *SPI* передаёт его на вход *ЦАП*. Принимаемый *ЦАП* цифровой код преобразуется в аналоговое значение напряжения *U2* (рис. 2) на выходе *ЦАП*. Далее сигнал напряжения *U2* передается на вход *МУ* и масштабируется в сигнал напряжения *U3* (рис. 2) на выходе *МУ*. После этого, сигнал напряжения *U3* подаётся на вход *СБ*. В *СБ* сигнал напряжения *U3* преобразуется в измерительный импульс тока *I* (рис. 2) протекающий через *ИП*. Одновременно с этим происходит запуск *БИ* для измерения величин параметров U_f и I_f испытуемого тиристора. Измеренные величины параметров тиристора передаются в управляющую программу для обработки, Затем *МК* генерирует код соответствующий следующему импульсу и так далее до конца выполнения программы генерации последовательности импульсов содержащейся в МК.

Использование *МК* для построения генератора позволяет с помощью управляющей программы на этапе подготовки *УИСТ* к пуску (*Этап 1*), задавать параметры генерируемого *УГИН* сигнала такие как:

1) тип импульсов напряжения;
2) количество импульсов в пределах от 1 до 4096;
3) длительность импульсов в пределах от 10 мкс до 10 с;
4) длительность паузы между импульсами в пределах от 10 мкс до 10 с;
5) шаг амплитуды генерируемых импульсов в пределах от 1,22 мВ до 1 В;
6) коэффициент усиления масштабирующего усилителя в пределах от 1 до 2;

Для построения генератора был использован 12-битный *ЦАП*. Пороговое напряжения для него было выбрано 5 В, таким образом амплитуда генерируемых импульсов напряжения *U2* (рис. 2) с выхода *ЦАП* может варьироваться от 0 до 5 В. Использование данного *ЦАП* позволяет задавать минимальный шаг амплитуды импульсов напряжения равным 1,22 мВ, данное значение можно регулировать с помощью управляющей программы в большую сторону. Точность выставления напряжения на выходе *ЦАП* составляет ± 0,024%. Максимальное количество генерируемых УГИН импульсов при использовании данного *ЦАП* составляет 4096.

МУ позволяет масштабировать сигнал *U2* с выхода *ЦАП* в сигнал *U3* (рис. 2) в пределах от 0 до 10 В.

Минимальная длительность генерируемых УГИН импульсов $t_1 - t_2$ и длительность паузы между ними $t_2 - t_3$ (рис. 2) составляет 10 мкс, данное значение можно регулировать с помощью управляющей программы в большую сторону. Возможность регулирования длительности генерируемых УГИН импульсов позволяет выбирать длительность импульсов исходя из времен жизни неосновных носителей заряда τ_p в испытуемом приборе. Реализация регулируемой длительности паузы между импульсами позволяет не перегревать прибор во время измерений, что положительно сказывается на точности измерений.

Заключение. В данной статье рассматривается УГИН предназначенный для встраивания в устройство испытания силовых тиристоров, которое применяется для измерения параметров вольт-амперной характристики в состоянии высокой проводимости. Разработанный УГИН может применяться для других типов испытательного оборудования полупроводниковых приборов, например, для устройств для испытания приборов в состоянии низкой проводимости. УГИН позволяет регулировать параметры вырабатываемых импульсов с помощью управляющей программы реализованной на персональном компьютере в программной среде NI LabVIEW [4, 5]. Минимальная длительность генерируемых УГИН импульсов и длительность паузы, между ними составляет величину в 10 мкс, что позволяет применять данный генератор в испытательном и диагностическом оборудовании для широкого спектра полупроводниковых приборов.

Список литературы

1. *Беспалов Н. Н.* Диагностика и контроль параметров силовых полупроводниковых приборов / Н. Н. Беспалов, А. В. Мускатиньев, М. В. Ильин // Электроника и информационные технологии. – 2007. – № 1-2. – С. 35. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://fetmag.mrsu.ru/2007-1/archive/index.html.

2. *Беспалов Н. Н.* «АДИП»: Диагностика силовых полупроводниковых приборов / Н. Н. Беспалов, А. В. Мускатиньев // Силовая электроника. – 2004. – № 1. – С. 38-39.

3. Беспалов Н. Н. Выбор силовых полупроводниковых приборов для параллельного соединения / Н. Н. Беспалов, М. В. Ильин, С. С. Капитонов, И. В. Гуляев // Электротехника. – 2017. – № 6. – С. 17-22.

4. National Instruments Corporation NI Digital Electronics FPGA Board. User Manual. Circuit Development Platform. – USA. : National Instruments Corporation, 2009. – 52 с.

5. LabView System Design Software. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.ni.com/labview/.

05.11.00

В.В. Киселев канд. техн. наук, В.Н. Осколков канд. техн. наук

Пермский национальный исследовательский политехнический университет
Кафедра “Конструирование и технологии в электротехнике“
Пермь, ktei@pstu.ru

КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ НА ЭТАПАХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-5-122-124

Предложена методика расчета критериев оценки тепловых режимов на этапах проектирования радиоэлектронных средств (РЭС) с применением коэффициентов неравномерности температурного поля, которые характеризуют отличие среднеповерхностного перегрева модуля РЭС от среднего перегрева модулей высшего уровня. Представлены методики вычисления коэффициентов неравномерности и приближенного расчета с их использованием перегрева и температуры элементов и модулей.

Ключевые слова: *тепловое проектирование, критерии оценки тепловых режимов, коэффициент, неравномерность, расчет перегрева модуля.*

Окончательным критерием, по которому оценивается тепловой режим конструкции РЭС являются ограничения на рабочую температуру (предельно допустимые значения) для изделий электронной техники (ИЭТ), входящих в ее состав. Ограничения задаются техническими условиями на эти элементы или, если нужно обеспечить повышенную надежность, устанавливаются более жесткие ограничения на рабочую температуру. При нисходящем проектировании и анализе тепловых режимов конструкции наиболее точным может быть следующий путь: расчет температур всех ИЭТ, сравнение их с допустимыми значениями, определение критичных элементов или их совокупностей – критичных зон (модулей какого-либо уровня), где не соблюдаются ограничения; корректировка параметров – принятие мер по обеспечению нормальных тепловых режимов в этих частях конструкции, проведение проверочных расчетов тепловых режимов ИЭТ для проектных вариантов.

В реальных условиях проектирования, при известной неопределенности электрических, конструктивно-технологических параметров для модулей всех уровней, такой подход требует рассмотрения большого количества вариантов, большого объема вычислений. Необходимо по всему нисходящему алгоритму расчета температур элементов предварительно их оценивать на основе имеющейся ограниченной информации, чтобы заранее определить «узкие», критические места конструкции, где необходимо обеспечить нормальный тепловой режим. При тепловом поэтапном проектировании РЭС такая оценка обычно проводится весьма приближенно, так как вопрос формализованного определения таких критериев практически не решен.

При нисходящем проектировании РЭС на каждом этапе (иерархическом уровне) рассчитываются среднеповерхностные температуры или перегревы модулей РЭС следующего, низшего уровня, поэтому в качестве критериев тепловых режимов удобно использовать ограничения на эти температуры. Формализованная постановка задачи определения критериев предполагает нахождение достаточно простой зависимости величины допустимой среднеповерхностной температуры модуля какого-либо уровня от допустимой температуры его элементной базы. В условиях неполной информации о конструкции модулей нижележащих уровней известны: ограничения на температуру элементов – предельно допустимые температуры для наиболее термокритичных элементов из возможных для применения; суммарные мощности рассеивания модулей РЭС, параметры базовой несущей конструкции (БНК), условия эксплуатации. Необходимо определить характер критериальной зависимости и ее параметры, которые могли бы рассчитываться

априорно для типовых конструкций модулей РЭС, компонуемых в БНК, используя разработанные методики анализа [2,3].

В статье предлагается приближенный метод определения критериев тепловых режимов уровней БНК на основе использования коэффициентов неравномерности температурного поля, характеризующих отличие среднеповерхностного перегрева модуля РЭС *j*– го уровня иерархии от среднего перегрева модуля РЭС высших уровней (*i*), в которые он входит [3]:

$$\psi_j^{(i)} = \overline{\vartheta}_j^{(i)} \Big/ \overline{\vartheta}_i^{(i)}, \qquad (1)$$

где $i = j+1,\dots N$; $\overline{\vartheta}_j^{(i)} = \overline{t}_j - t_{yci}$ – перегрев средней температуры модуля РЭС *j* – го уровня над условной средой *i* – го уровня; $\overline{\vartheta}_i^{(i)} = \overline{t}_i - t_{yci}$ – перегрев средней температуры модуля РЭС высшего уровня по сравнению с *j* – м над условной средой (внешней средой).

Значение коэффициента неравномерности зависит от конструктивного исполнения модулей, от местоположения модуля *j* – го уровня, то есть от характера и силы внутренних и внешних тепловых связей, а также от распределения мощностей рассеивания.

Перегрев ИЭТ может быть следующим образом выражен через средний перегрев модуля РЭС какого-либо (*i* – го) уровня:

$$\vartheta_{ИЭТ}^{(i)} = \vartheta_i^{(i)} \cdot \psi_{ИЭТ}^{(i)}. \qquad (2)$$

$\psi_{ИЭТ}^{(i)}$ представляет собой в общем случае функцию следующих теплофизических переменных:

$$\psi_{ИЭТ}^{(i)} = f\left(\psi_{i-n}^{(i-n+1)},\ \sigma_{i-n},\ \forall n = 1,\dots i\right), \qquad (3)$$

где $\psi_{i-n}^{(i-n+1)}$ – коэффициент неравномерности температурного поля, характеризующий отличие среднего перегрева модуля (*i* - *n*) –го уровня иерархии от среднего перегрева модуля верхнего уровня; σ_{i-n} – тепловые проводимости, характеризующие внешние и внутренние тепловые связи модуля (*i* - *n*) – го уровня.

Коэффициенты неравномерности и тепловые проводимости определяются при следующих условиях: конструктивно-функциональные уровни РЭС полностью заполнены модулями, имеющими одинаковое конструктивное исполнение и равномерное распределение мощностей тепловыделений источников; причем рассчитываются значения параметров для средних модулей, т.е. модулей, имеющих средние характеристики по местоположению в объеме модуля верхнего уровня.

Приведем выражение для вычисления коэффициента неравномерности для стоечных РЭС, характеризующего отличие перегрева ИЭТ от среднего перегрева среднего модуля *j* – го уровня.

$$\psi_{ИЭТ}^{(i)} = \psi_{i-1}^{(i)}\psi_{ИЭТ}^{(i-1)} - \left(\psi_{ИЭТ}^{(i-1)} - 1\right)\left(\sigma_{i-1}^{(i)} + \sum_j^J \psi_{i-1,j}^{(i)}\sigma_{i-1,j}^{(i-1)}\right) \Bigg/ \left(\sigma_{i-1}^{(i)} + \sum_j^J \sigma_{i-1,j}^{(i-1)} + \sigma_{i-1,YC}^{(i)}\right), \qquad (4)$$

где $\sigma_{i-1}^{(i)}$ – тепловая проводимость среднего модуля (*i* - 1) – го уровня к БНК модуля *i* – го уровня, в который он входит; $\sigma_{i-1,YC}^{(i)}$ – тепловая проводимость среднего модуля (*i* - 1) – го уровня к условной среде модуля *i* – го уровня, в который он входит; $\sigma_{i-1,j}^{(i-1)}$ – взаимная тепловая проводимость – проводимость среднего модуля (*i* - 1) – го уровня к *j* – му модулю того же уровня, имеющему коэффициент неравномерности температурного поля $\psi_{i-1,j}^{(i)}$; *J* – общее количество модулей (*i* - 1) – го уровня в среднем модуле *i* – го уровня.

Коэффициент неравномерности $\psi_{ИЭТ}^{(i-1)}$ рассчитывается по формуле (4) с заменой индекса i на (i - 1), (i - 1) – на (i - 2).

Коэффициент $\psi_{i-1}^{(i)}$, характеризующий отличие перегрева среднего модуля (i - 1) – го уровня иерархии от перегрева рассматриваемого среднего модуля i – го уровня, может быть рассчитан по формуле:

$$\psi_{i-1}^{(i)} = \frac{\sigma_{i,УС}^{(i)}}{J^2} \sum_{k}^{J} \sum_{j}^{J} F_{kj}^{(i-1)}, \qquad (5)$$

где $\sigma_{i,УС}^{(i)}$ – тепловая проводимость модуля i – го уровня к его условной среде; J – общее количество модулей (i - 1) – го уровня, входящих в рассматриваемый модуль i – го уровня; $F_{kj}^{(i-1)}$ — тепловой коэффициент, характеризующий теплообмен k – го и j – го модулей (i - 1) – го уровня.

Итак, в процессе теплового проектирования на этапе, соответствующем ($i \neq 1$) – му уровню иерархии РЭС, рассчитываются средние перегревы входящих модулей i – го уровня, температуры условных сред для них. Воспользовавшись данными о коэффициентах неравномерности для типовых конструктивов РЭС, хранящимися в постоянной части информационного обеспечения (ИО), можно приближенно рассчитать по формуле (2) предположительный перегрев, а затем и температуру ИЭТ, сравнить полученное значение с допустимым. Данную оценку температуры ИЭТ можно использовать в качестве входной информации при ориентировочных расчетах показателей надежности. Из формулы (2) можно получить выражение для приближенной оценки допустимого перегрева i – го уровня:

$$\overline{\vartheta}_{i\,доп}^{(i)} = \left(t_{ИЭТ\,доп} - t_{УС\,i}\right) \Big/ \psi_{ИЭТ}^{(i)}, \qquad (6)$$

а также допустимой температуры:

$$\bar{t}_{i\,доп} = t_{ИЭТ\,доп} \Big/ \psi_{ИЭТ}^{(i)} + t_{УС\,i}\left(1 - 1 \Big/ \psi_{ИЭТ}^{(i)}\right). \qquad (7)$$

Из формулы (2) следует, что существует два основных направления снижения перегрева ИЭТ – уменьшение среднего перегрева модуля и коэффициента неравномерности. Понижение среднего перегрева модуля РЭС осуществляется путем интенсификации теплоотдачи к внешней среде. Уменьшение коэффициента неравномерности (приближение его значения к единице) означает выравнивание температурного поля, что может быть достигнуто за счет улучшения теплоотвода от центра модуля к его периферии. Причем рекомендуется сосредоточить эти усилия на трех структурных уровнях, где коэффициенты неравномерности будут иметь значения, существенно больше единицы.

Список литературы

1. *Осколков В.Н.* О моделировании теплового режима конструктивно-функциональных модулей – системы дискретных элементов //Фундаментальные исследования. – 2014. – № 91–1. –С.2408–2410.

2. *Киселев В.В., Ширяев Ю.Н., Осколков В.Н.* Моделирование теплового режима конструктивно функциональных модулей с высокой плотностью компоновки // Вестник ПНИПУ. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2012. – № 6 – С. 78 – 84.

3. Design and performance of a system for VLSI packaging thermal modeling and characterization / Z.J. Stasrak, J.L. Prince, B.J. Cooke, D.A. Shope // IEEE Trans. Compon. Hybrids. and Manuf. Technol. – 1987. – v. 12, N 4. – p. 628 – 636.

05.11.00

И.В. Нелин канд. техн. наук, М.К. Седанкин канд. техн. наук, В.А. Скуратов

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),
кафедра 410 «Радиолокация, радионавигация и бортовое радиоэлектронное оборудование»,
Москва, kaf-44-3@yandex.ru,
ФГБУ «ГНИИЦ РТ» МО РФ; Москва, msedankin@yandex.ru

РАДИОТЕРМОМЕТРИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ОБСЛЕДОВАНИЯ ГОЛОВНОГО МОЗГА

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-5-125-128

Статья посвящена разработке диагностической системы на основе волноводных антенн, которая может применяться в медицинских робототехнических комплексах. Проведенные теоретические исследования возможности использования микроволновой радиотермометрии для выявления ишемического инсульта показали, что метод позволяет обнаруживать тепловые аномалии мозга и проводить его термомониторинг.

Ключевые слова: *медицинская робототехника, радиометрический датчик, радиотермометрия, медицинские робототехнические комплексы.*

Бурное развитие робототехники побуждает исследователей и инженеров всего мира к созданию различных медицинских робототехнических комплексов [1]. Применение их для военных и гражданских целей позволит решить ряд важных задач: повысить уровень безопасности медицинского персонала, автоматизировать поиск, эвакуацию, экстракцию и первую помощь раненым; уменьшить количество человеческих потерь; обеспечить использование телемедицины, дистанционный мониторинг витальных функций и переход к персонализированной медицине, а также создать технологии и медицинские изделия двойного назначения. В ходе боевых действий наиболее критичны повреждения головы человека и, соответственно, головного мозга (далее ГМ). Для диагностики и терапии поражений ГМ целесообразно применение неинвазивных маловесных диагностических систем. В качестве таких систем могут быть использованы медицинские диагностические системы, использующие для целей диагностики микроволновое излучение. Сегодня различные научные группы ведут разработки подобных приборов. Диагностические комплексы на основе микроволновых систем могут быть более доступными для большого числа пациентов, чем традиционные (КТ, МРТ, ПЭТ и пр.), в силу меньшей стоимости. Кроме того, с учетом последних разработок в области современных алгоритмов обработки данных открываются возможности для создания новых диагностических систем для мониторинга и лечения с использованием электромагнитных полей [2]. Работа таких систем основана на диэлектрическом контрасте между здоровыми и патологическими тканями ГМ. В научно-технической литературе представлены сведения о нескольких разработках в данной сфере: установка для микроволновой томографии [3], портативной широкополосной микроволновой системе визуализации внутричерепных кровотечений [4], радарных систем визуализации ГМ [5]. Есть сведения о неинвазивной диагностической системе мониторинга внутренних тканей «AccuCor DTMS» компании ThermImage, Inc., которая является разработчиком неинвазивных систем мониторинга и визуализации тканей ГМ [6]. Также в работе [7] представлены исследования, связанные с разработкой 4х-канальной радиотермометрической системы для обследования ГМ.

Микроволновая радиотермометрия (далее МР) является пассивным контактным методом, позволяющим проводить функциональную диагностику организма человека на основе регистрации его микроволнового излучения [1]. Обследование осуществляется контактным способом с помощью микроволновых сенсоров (антенн), установленных на поверхности

тела. Далее измеренная мощность пересчитывается в радиояркостную температуру (далее РТ). Прибор обеспечивает точность измерения РТ±0,2-0,3 °С. Выполнено огромное количество исследований [8], подтверждающих эффективность МР в различных областях медицины. Чтобы адаптировать МР для применения в военных целях, необходима разработка новых датчиков (сенсоров), являющихся фактически медицинскими антеннами, конструкция которых позволит встроить их в диагностические средства медицинских робототехнических комплексов (МРТК).

Кроме того, сегодня инсульт ГМ является основной социальнозначимой проблемой неврологии. Инсульт в России ежегодно поражает около 500 тыс. человек. Инвалидами после инсульта становятся около 70 – 80% выживших [9]. Ранее внедрение МР было ограничено необходимостью проводить обследования в экранированных помещениях. В дальнейшем была создана двухдиапазонная помехозащищённая антенна (ø32 мм), используемая в составе радиотермометра «РТМ-01-РЭС». Антенна позволила проводить обследования без специальной экранировки помещения.

Основной задачей данной работы являлась теоретическая оценка диагностических возможностей указанной антенны в отношении ишемического инсульта. Если установить антенну на тело, то мощность шумового сигнала на её выходе будет пропорциональна РТ (T_{rad}, °К) тела:

$$P = kT_{rad}\Delta f \quad (1)$$

где P – мощность шумового сигнала на выходе антенны, Вт; k=1.38·10^{-23} Дж/°К – константа Больцмана; Δf – рабочая полоса частот радиотермометра, Гц.

РТ при согласовании с биологическими тканями определяется [5-7] как:

$$T_{rad} = \int_{-\infty}^{\infty} T(r)W(r)dV \quad (2)$$

где $T(r)$ – термодинамическая температура БО, $W(r)$ – радиометрическая весовая функция.

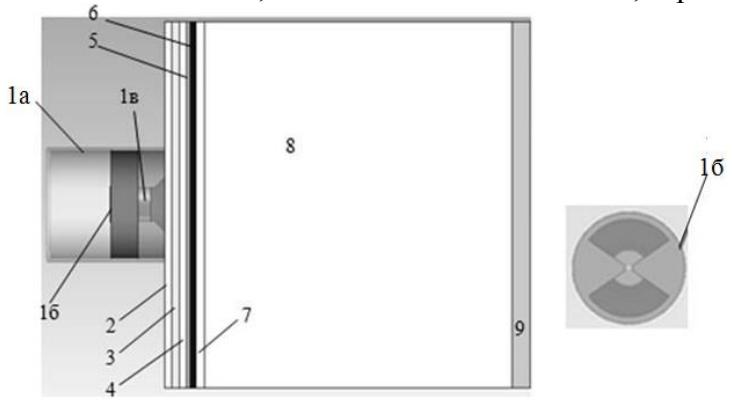
$$W(r) = \frac{\frac{\sigma(r)}{2}|E(r)|^2}{\int_{-\infty}^{\infty}\frac{\sigma(r)}{2}|E(r)|^2 dV} \quad (3)$$

где $E(r)$ –напряжённость электрического поля, создаваемого антенной в объёме БО, $\sigma(r)$ – электропроводность ткани БО.

Из (1-3) следует, что для расчёта РТ необходимо знать поле антенны $E(r)$, электрофизические параметры биологических тканей $\sigma(r)$, $\varepsilon(r)$ и распределение температуры $T(r)$. Для расчёта $E(r)$ необходимо численно решить уравнения Максвелла, а для расчёта $T(r)$ – уравнение тепломассопереноса с учётом кровотока. В итоге, решив две эти краевые задачи, можно найти $T(r)$ и $E(r)$, и рассчитать РТ.

Методы исследований

Так как электрофизические параметры различных слоёв головы человека имеют близкие значения, то их можно рассматривать как единый слой. В результате анализа анатомии головы человека создана плоскослоистая модель: кожа, жировая и костная ткани, твёрдая мозговая оболочка, спинномозговая жидкость, серое и белое вещество ГМ (рис.1).



1а – антенна,
1б – излучатель антенны,
1в – ИК-датчик; 2–кожа;
3 –жировой слой,
4 – кости черепа;
5 – твёрдая мозговая оболочка;
6 – спинномозговая жидкость;
7 – серое вещество;
8 – белое вещество;
9 – поглотитель.

Рис. 1. Исследуемая Модель.

Каждый слой характеризуется электрофизическими параметрами: диэлектрической проницаемостью и электропроводностью [10]. Параметры $\varepsilon(r)$, $\sigma(r)$ ишемического инсульта близки к аналогичным параметрам интактных тканей. Расчёт $E(r)$ проведен в коммерческой программе электродинамического моделирования в диапазоне частот 3,4-4,2ГГц по методологии [8].

Антенна (рис.1,1а) представляет собой волновод круглого сечения, заполненный высочастотной керамикой с диэлектрической проницаемостью ε=10. На внутреннее основание керамики нанёсен щелевой излучатель в виде «бабочки» (рис.1,1б), в центре которого расположен зазор для пайки коаксиального кабеля. Изменением угла раскрыва излучателя обеспечивается согласование антенны с выбранным объектом исследования.

Тепловая модель (рис.2) структурирована подобно электродинамической модели и представляет собой многослойную полусферу.

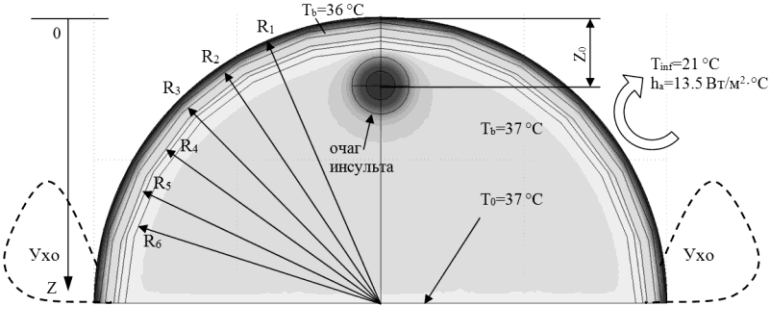


Рис. 2. Тепловая модель биологического объекта.

Каждый слой характеризуется теплофизическими параметрами: удельным тепловыделением, теплопроводностью, параметрами кровотока [11]. Моделирование проводилось с помощью коммерческой мультифизической программы. Слой твердой мозговой оболочки рассматривался как один слой с костной тканью. Очаг ишемического инсульта моделировался в виде двухслойной сферы и состоял из 2 областей, различающихся по тепловым параметрам: ядро с кровотоком 25% от кровотока в интактных тканях ($0{,}25\rho_b c_b \omega_b$) и оболочка (penumbra) – с кровотоком 40% ($0{,}4\rho_b c_b \omega_b$) [11]. Диаметр очага инсульта составлял 10 мм, 15 мм, 20 мм, а диаметр оболочки – 20 мм, 30 мм, 40 мм. Расчёт производился при разной глубине залегания очага инсульта. В соответствии с (1-3) РТ определяется реальной температурой каждого из слоёв ГМ и их весовыми коэффициентами.

Для того чтобы понять какой вклад в измеряемую РТ вносят подчерепные ткани ГМ, необходимо рассчитать весовые коэффициенты. Расчёты показали, что подчерепные ткани вносят вклад ≈ 73%, а глубина измерения составила 20 мм. Для расчёта повышения РТ ΔT_{rad} на проекции инсульта в соответствии с (4) необходимо знать реальную температуру ГМ без $T(r)$ и при наличии инсульта $T_0(r)$, т.е. термоассимметрию ΔT(r), которая определяется как:

$$\Delta T(r) = T(r) - T_0(r) \quad (4)$$

Результаты расчёта $\Delta T(r)$ были аппроксимированы следующей формулой:

$$T(r) = A \cdot e^{\frac{-r^2}{\left(B\frac{D}{2}\right)^2}} \quad (5)$$

$$r_1^2 = (x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2; \quad (6)$$

где x, y, z – текущие координаты; x_0, y_0, z_0 – координаты центра расположения очага инсульта; D – диаметр очага; A, B –коэффициенты аппроксимации: A=1.15, B=0.95 (ядро – Ø10мм, оболочка – Ø20 мм); A=1.88, B=0.9 (Ø15 мм, Ø30 мм) и A=2.47, B=0.85 (Ø20 мм,Ø40 мм).

На рис.3 представлена зависимость РТ от глубины залегания инсульта трёх описанных случаев.

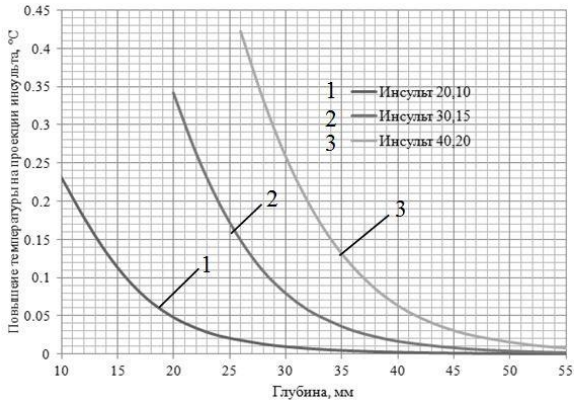


Рис. 3. Повышение РТ на проекции очага инсульта.

Из полученных данных можно заключить, что радиотермометр способен выявлять тепловые изменения внутри ГМ при размере очага ишемического инсульта диаметром 35мм и более, расположенных в области коры больших полушарий.

Заключение

Выполнено математическое моделирование радиотеплового излучения ГМ в микроволновом диапазоне (λ=8 см) при наличии ишемического инсульта. Теоретические исследования показали, что МР способна выявлять тепловые аномалии коры больших полушарий ГМ. Вклад подчерепных тканей в измеряемую РТ ≈ 73%. Глубина выявления тепловых аномалий составляет 20 мм, но за счёт теплопередачи от глубинных слоёв возможно выявление тепловых аномалий, расположенных значительно глубже. Практическое внедрение данных систем позволит интегрировать их в состав диагностических средств МРТК и другого оборудования для обследования ГМ человека.

Список литературы

1. *И.В. Нелин, М.К. Седанкин, В.А. Скуратов.* Радиометрические датчики для медицинских робототехнических комплексов// Научно-технический вестник Поволжья. 2017. №6. С. 164-166.

2. *В.В. Кузнецов, В.А. Скуратов.* Компьютерное моделирование воздействия поверхностных тканей человека на поле копланарной линии передачи// Научно-технический вестник Поволжья.2013.№5.С.239-242.

3. *A. Fhager, P Hashemzadeh, M Persson.* Reconstruction quality and spectral content of an electromagnetic.time-domain inversion algorithm// IEEE Trans.s on Biom.l Eng.V. 53, N. 8, P. 1594-1604, 2006.

4. *A. T. Mobashsher, A. M. Abbosh.* On-site rapid diagnosis of intracranial hematoma using portable multi-slice microwave imaging system//Scientific Reports.6:37620.DOI: 10.1038/srep37620.P.1-17.

5. *A. T. Mobashsher, A. M. Abbosh.* Developments of tomography and radar-based head imaging systems.//*Proc. Inter. Symp. Antennas Propag.*, P.1-3, 2015.

6. Официальный сайт TheAccuCorDTMS, http://www.thermimage.com/news/15.

7. Sensing local temperature and conductivity changes in a brain phantom using near-field microwave radiometry/ E. Groumpas [et al.] //International Workshop on Antenna Technology: Small Antennas, Innovative Structures, and Applications (iWAT). P.1-3, 2017.

8. *Веснин С.Г., Седанкин М.К.* Сравнение антенн-аппликаторов ме-дицинского назначения //Биомедицинская радиоэлектроника. 2012. В.10. С.63-74.

9. *Стародубцева О.С., Бегичева С.В.* Анализ заболеваемости инсультом с использованием информационных технологий//Медицинские науки. Фундаментальные исследования. 2012. №8.С.424-427.

10. *Gabriel C.,Gabriel S., Law R.W.* The dielectric properties of biological tissues: II. Measurements in the frequency range 10 Hz to 20 GHz//Phys.Med.Biol.1996.N.41.P.2251-2269.

11. A theoretical model of selective cooling using intracarotid cold saline infusion in the human brain/ A.-A. Konstas [et al.]// J.Appl.Physiol.2007.V.102. P.1329–1340.

05.11.00

В.В Паничев канд. техн. наук, Н.А. Соловьев д-р техн. наук,
А.М. Семенов канд. техн. наук

Оренбургский государственный университет,
факультет математики и информационных технологий,
кафедра программного обеспечения вычислительной техники и автоматизированных систем,
Оренбург, povtas@mail.osu.ru

АЛГОРИТМ ОБНАРУЖЕНИЯ ОПТИЧЕСКИХ ИМПУЛЬСНЫХ СИГНАЛОВ В УСЛОВИЯХ ФОНОВЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-5-129-132

В работе рассматривается способ накопления импульсов в шумах, основанный на алгоритме обработки сложных сигналов, предложена модель схемы приемника с многоканальной обработкой простого сигнала как сложного, представлены результаты оценки способа накопления сигналов, полученные с помощью имитационного моделирования.

Ключевые слова: *корреляционная функция, сложный сигнал, согласованный фильтр, бинарный код.*

Обнаружение импульсных сигналов в условиях фоновых излучений, несмотря на применение различных видов селекции, зависит от энергии сигнала, которую можно увеличить за счет накопления импульсов. С целью сокращения временных затрат сопровождающих процесс накопления необходимо решить задачу увеличения энергии каждого импульса принимаемой последовательности.

Пусть на вход приемника из оптической системы поступает аддитивная смесь сигнала *s(t)* и белого гауссова шума *n(t)* [1]

$$x(t) = s(t) + n(t) \quad (1)$$

с нулевым средним шума и стационарной корреляционной функцией $K_n(\tau) = 0{,}5N_0\delta(\tau)$. Тогда при истинности гипотезы H_1 о наличии сигнала процесс как сумма некоррелированных гауссовых процессов будет также гауссов с корреляционной функцией $K_x(\tau)$, равной сумме корреляционных функций *s(t)* и *n(t)*: $K_x(\tau) = K_s(\tau) + 0{,}5N_0\delta(\tau)$, где N_o – спектральная плотность белого шума; $\delta(\tau)$ – дельта функция.

При малом отношении сигнал/шум $q<<1$ для выполнения условия корреляционного приема требуется повысить отношение сигнал/шум до уровня, при котором значение $K_s(\tau) > K_n(\tau)$ для каждого импульса последовательности. Для этого каждый принимаемый входной сигнал (1) последовательности преобразуется в сложный (составной) сигнал с учетом того, что вместе с кодированием полезного сигнала будет кодироваться и аддитивный с ним шум.

Тогда алгоритм обнаружения импульсных сигналов в шумах может быть реализован с помощью схемы приемника, из последовательно соединенных элементов (рис. 1): схемы стробирования (1), схемы кодирования входного сигнала (2), согласованного фильтра (3) и пороговой схемы (4).

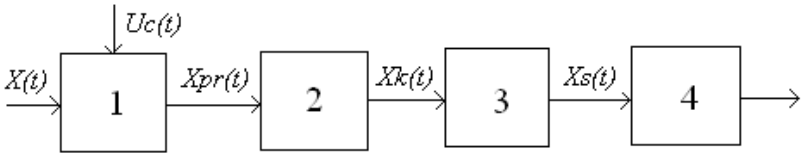


Рис. 1 –Схема приемника с накоплением импульсного сигнала

Схема кодирования (2) формирует сложный сигнал в виде пачки из *m* копий входной реализации *x(t)* длительностью $T = m * t_u$. Некоррелированность копий шума достигается случайным сдвигом каждой копии по времени относительно друг друга в пределах до 10-20% длительности импульса [2]. Однако если входная реализация содержит, *n* дискретных значений, то число копий не превысит величины *m=0,1n*, что явно недостаточно. Здесь предполагается, что $t_u = t_н$. Такой процесс накопления математически описывается выражением [3]

$$x_s(\mathrm{t}) = \int_0^T \sum_{i=1}^m s(t - \Delta\tau)dt + \int_0^T \sum_{i=1}^m n(t - \Delta\tau)dt\ ,) \qquad (2)$$

где $\Delta\tau$ - случайная величина задержки копий в интервале $(0;0,1t_u)$.

При организации параллельного накопления *k* копий, которые создаются путем перемешивания значений входного сигнала, общее число суммируемых копий можно увеличить до величины *l=k*m*. В этом случае схема приемника будет многоканальной (рис. 2). При этом входной сигнал $x_{pr}(t)$ из схемы стробирования (5) подается в схему формирования копий и синхронизации (6). В схеме (6) она задерживается на длительность $t_н$, и суммируется с не задержанным входным сигналом, т.е. $x_{дв}(\mathrm{t}) = x(t) + x(t - t_н)$.

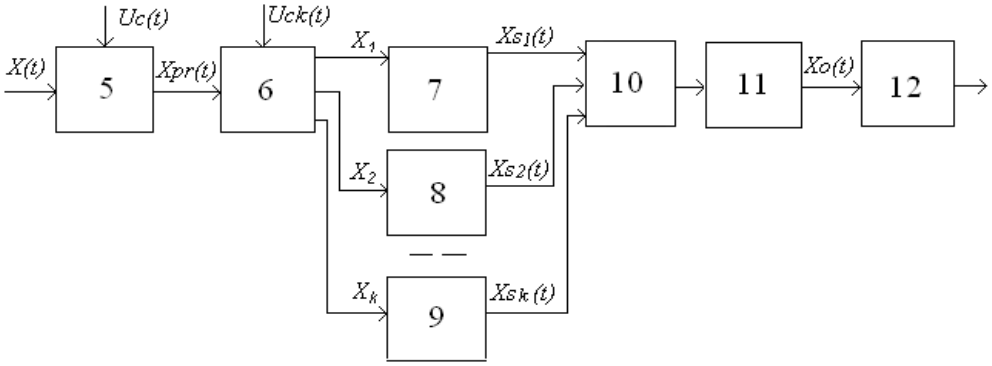


Рис. 2 –Схема приемника с многоканальной обработкой сигнала

Из сигнала $x_{дв}(\mathrm{t})$, вырезается *k* некоррелированных копий $x_1(t), x_2(t), ..., x_k(t)$ длительностью $t_u = t_н$, путем сдвига строба $U_{ck}(t)$ относительно начала двойного входного сигнала на величину, в частности, равную $0,1t_н, 0,2\mathrm{t_н}, ...$ и так далее, т.е.

$$x_1(t) = x_{дв}(t - \tau_1) * U_{ck}(t - \tau_1) = x(t - \tau_1) + x(t - t_н - \tau_1),$$
$$x_2(t) = x_{дв}(t - 2\tau_1) * U_{ck}(t - 2\tau_1) = x(t - 2\tau_1) + x(t - t_н - 2\tau_1),$$
$$- -$$
$$x_{\mathrm{k}}(t) = x_{дв}(t - k\tau_1) * U_{ck}(t - k\tau_1) = x(t - k\tau_1) + x(t - t_н - k\tau_1),$$

где $\tau_1 = 0,1t_н;\ i\tau_1 \le t \le (k+i)\tau_1;\ i = 1,2,...,k$.

Затем все *k* копий синхронизируются и подаются в свой канал сложной обработки (рис. 2), т.е. в блоки (7), (8), (9), в каждом из которых производится кодирование и согласованная фильтрация сигналов $x_1(t), x_2(t), ..., x_k(t)$. При кодировании семиэлементным бинарным кодом [4] сигнала $x_1(t)$ на выходе схемы кодирования формируется сложный сигнал

$$x_{1k}(t) = x_1(t - 1t_u - \Delta\tau) + x_1(t - 2t_u - \Delta\tau) + x_1(t - 3t_u - \Delta\tau) -$$
$$- x_1(t - 4t_u - \Delta\tau) - x_1(t - 5t_u - \Delta\tau) + x_1(t - 6t_u - \Delta\tau) - x_1(t - 7t_u - \Delta\tau)\ .$$

Аналогично формируются остальные сигналы $x_{2k}(t), x_{3k}(t), ..., x_{kk}(t)$. Если входной сигнал содержит *n=100* дискретных значений, то сложный сигнал, например, $x_{1k}(t)$ будет иметь вид

$$x_{1k}(t) = x_1(t) + x_1(t-101) + x_1(t-203) -$$
$$- x_1(t-304) - x_1(t-405) + x_1(t-507) - x_1(t-609).$$

Сложный сигнал $x_{1k}(t)$ в согласованном фильтре подвергается сжатию, в результате чего формируется корреляционная функция (2) $x_{s1}(t)$, равная

$$x_{s1}(t) = -x_{1k}(t) + x_{1k}(t-100) - x_{1k}(t-200) -$$
$$- x_{1k}(t-300) + x_{1k}(t-400) + x_{1k}(t-500) + x_{1k}(t-600).$$

Таким же образом сжимаются и сигналы $x_{2k}(t), x_{3k}(t), ..., x_{kk}(t)$.

Выходной сигнал $x_c(t)$ сумматора (10) представляет собой суммарную корреляционную функцию равную сумме функций

$$x_c(t) = x_{s1}(t) + x_{s2}(t) + ... + x_{sk}(t).$$

После оптимальной фильтрации в схеме (11) сигнал $x_c(t)$ подается в пороговую схему (12), которая принимает решение о наличии или отсутствии полезного сигнала *s(t)* на интервале наблюдения.

Возможность реализации алгоритма обнаружения была проверена на имитационной модели (ИМ) (рис. 3). Состав ИМ: модель входного сигнала (13): модель одноканального приемника (схема кодирования (14), согласованный (15) и оптимальный (16) фильтры); модель многоканального приемника (схема формирования пяти некоррелированных копий и их синхронизации (17), пять параллельных каналов обработки с сумматором (18), оптимальный (19) фильтр).

Исходными значениями параметров модели: длительность сигнала *s(t)* $t_u = t_н = 1 мкС$, амплитуда сигнала *S=0,023B,* шум *n(t)* имитировался с помощью функции Matlab *normrnd(0,1).* Шаг расчета $\Delta t = 0{,}01 мкС$. Время расчета – *15 мкС.* Число копий *l=k*m=35.* На входе отношение *q=0,023.*

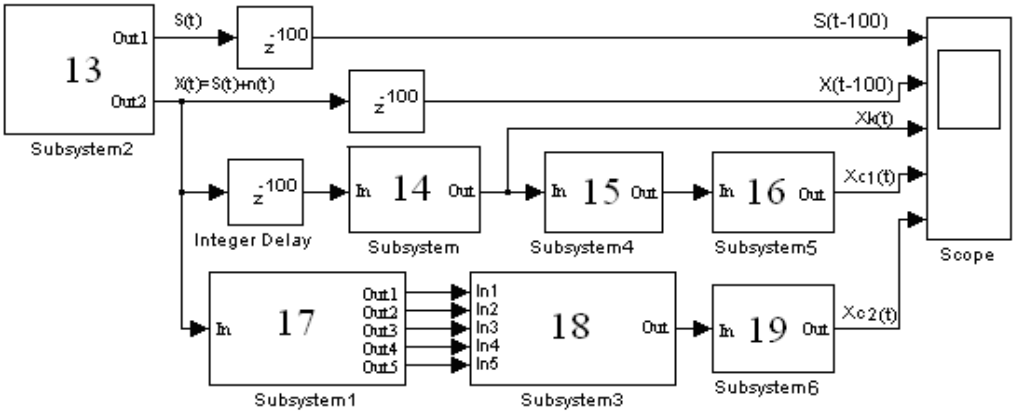


Рис. 3 – Имитационная модель приемников

Результаты имитации алгоритма обнаружения представлены на рис. 4 в виде эпюр элементов модели, снятые осциллографом (Scope): *S(t)* – полезный сигнал; *X(t)=s(t)+n(t)* – входной сигнал; $X_k(t)$ – сложный сигнал; $X_{c1}(t)$, $X_{c2}(t)$ - выходные сигналы приемников.

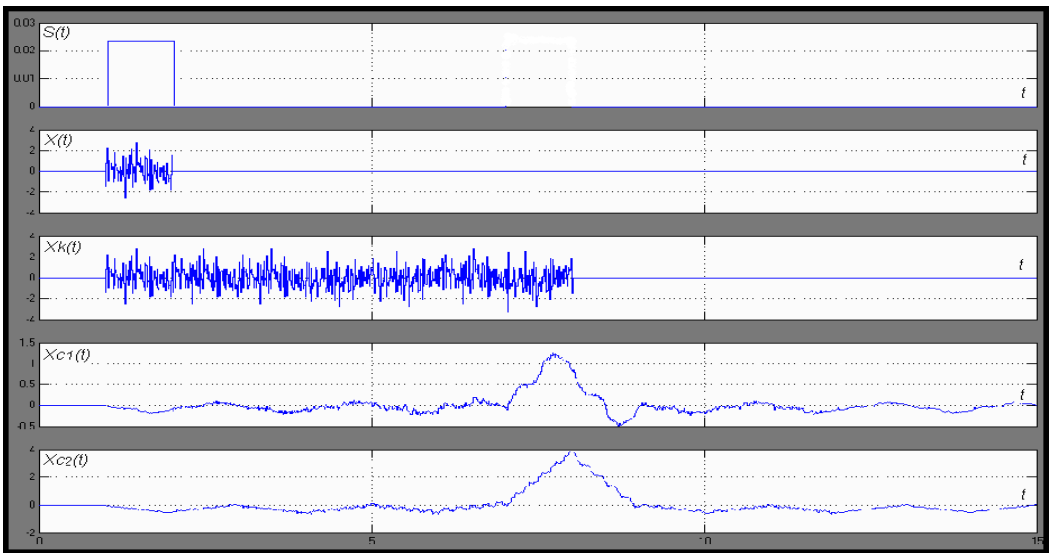


Рис. 4 – Эпюры сигналов элементов приемника

Из сравнения амплитуд $X_{c1}(t)$, $X_{c2}(t)$ и $S(t)$ следует, что алгоритмы одноканального и многоканального приема значительно увеличивают отношение сигнал/шум на выходе. При этом оценка вероятности правильного обнаружения сигналов составила 60%, а при $q=0,2$ - 90%.

Таким образом, предлагаемый алгоритм обнаружения импульсных сигналов, дает возможность повышения чувствительности приемника оптического излучения.

Список литературы

1 *Тузов Г. Н.* Статистическая теория приема сложных сигналов: – М.: Сов. Радио, 1977. – С 13.

2 *Паничев В.В.*, К оценке потенциальных возможностей накопления сигналов. Современные информационные технологии в науке, образовании и практике. Материалы всероссийской научно – практической конференции (с международным участием). – Оренбург, 2006. – С.42 – 44.

3 *Паничев В.В.*, О возможных путях повышения чувствительности приема сигналов в телекоммуникационных системах. Инновации в науке, бизнесе и образовании. Материалы всероссийской научно – практической конференции. – Оренбург, ВТУ, 2008. – С.45-47.

4 *Кузнецов В.И., Кукушкин С.С.* Синтез оптимальных проблемно-ориентированных сложных сигналов с заданными свойствами // Двойные технологии – 2014–№3 (68) – С 21.

05.11.06

П.В. Писарев[1] канд. техн. наук, А.Н. Аношкин[1] д-р техн. наук, А.Г. Захаров[2], К.А. Максимова[1], В.А. Ашихмин[1]

[1] Пермский национальный исследовательский политехнический университет, аэрокосмический факультет, кафедра механики композиционных материалов и конструкций, Пермь, pisarev85@live.ru, a- anoshkin@pstu.ru, karina-maksimova0402@yandex.ru, vladash96@gmail.com

[2] АО "Пермский завод "Машиностроитель", Пермь, zakharov@list.ru

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗПК СО СКАЛДЧАТЫМ ЗАПОЛНИТЕЛЕМ

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-5-133-135

В рамках данной работы представлены результаты лабораторных экспериментов по определению акустических характеристик образцов складчатых звукопоглощающих конструкций. Установлено, что использование взаимно перпендикулярной, шахматной схемы расположения складчатых ячеек ЗПК исключает их взаимовлияние при совместной работе.

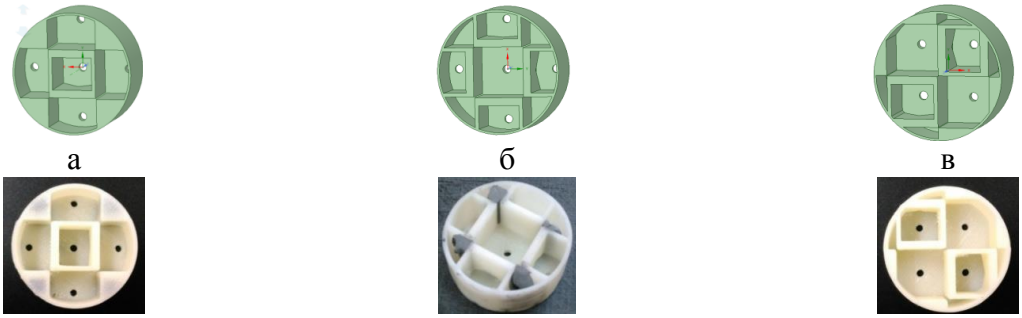
Ключевые слова: *складчатая звукопоглощающая конструкция, звукопоглощение, акустическая эффективность, интерферометр с нормальным падением волн, эталонные образцы.*

В настоящее время экология авиационного транспорта стала второй по актуальности проблемой. Одной из доминирующих составляющих вредного воздействия авиации на окружающую среду является шум на местности, создаваемый воздушными судами. Одним из наиболее эффективных способов снижения шума авиационных двигательных установок является включение в её состав звукопоглощающих конструкций (ЗПК) [1].

ЗПК представляют собой совокупность резонаторов Гельмгольца, выполненных в виде сотовой конструкции из полимерных композиционных материалов. К ЗПК выдвигаются высокие требования: они должны иметь минимальную толщину и массу, выдерживать большие давления и температурные колебания, противостоять выдуванию при высоких скоростях газового потока и, конечно, обладать высокой звукопоглощающей способностью [2]. При разработке новых ЗПК возникает необходимость в проведении экспериментальных исследований по выявлению акустически эффективной комбинации резонаторов. В рамках настоящей работы проводится лабораторное исследование акустической эффективности складчатой ЗПК, состоящей из ячеек различной конфигурации, на интерферометре с нормальным падением звуковой волны.

Для проведения лабораторных экспериментов, были изготовлены образцы складчатых ЗПК, которые представляют собой цилиндрические "пятачки" (рисунок 1, а-е). Образец 1 состоит из центрального изолированного складчатого резонатора, образец 2 содержит изолированный кубический резонатор, образец 3 является ячейкой периодичности (ЯП) складчатой ЗПК и состоит из двух пар взаимно перпендикулярных, складчатых ячеек ЗПК. Для образцов 1 и 2 перфорация, для прилегающих к центральному резонатору (складчатому и кубическому) свободных объемов, закрывалась акустически отражающим материалом.

Изготовление образцов производилось по технологии *FDM* прототипирования, на установке *Dimension SST 1200*. Объемное прототипирование изделий выполнялось путем послойного наращивания материала, из которого состоит модель, до образования единого целого - готового изделия.



а б в

г д е

Рис. 1 – Общий вид ЗПК: а, б, в - геометрические модели образцов;
г, д, е - эталонные образцы, изготовленные методом 3D печати

Экспериментальные акустические исследования образцов ЗПК были проведены на интерферометре лаборатории механизмов генерации шума и модального анализа ПНИПУ (рисунок 2). Экспериментальная установка представляет собой трубу круглого сечения, на одном конце которой располагается образец ЗПК, на другом – динамик, который облучает образец акустическими волнами. Обычно для измерений используют два микрофона, поскольку применяемый для определения импеданса «метод передаточной функции» получается наиболее простым для вычислений [3]. Характеристики интерферометра следующие: звуковое давление до 160 дБ, частотный диапазон 500-6400 Гц, размер испытываемого образца 30 мм.

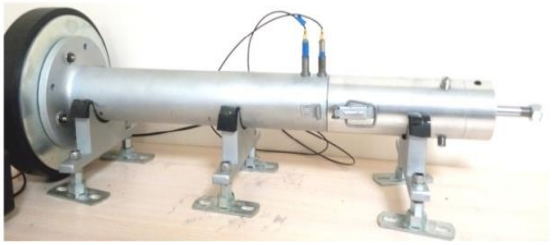


Рис. 2 – Укомплектованный и готовый к работе интерферометр

В качестве одной из основных проблем, возникающих при определении акустических характеристик ЗПК, является разброс акустических характеристик. Данный разброс обусловлен не симметричной структурой резонаторов, следовательно, интерференция волн внутри резонатора будет зависеть от ориентации ячейки. При проведении экспериментальных исследований отслеживалась ориентация образца относительно измерительной части (микрофонов).

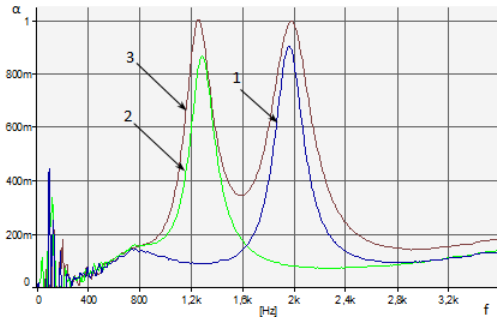
По результатам проведенных лабораторных исследований были получены зависимости коэффициента звукопоглощения, а так же значения действительной и мнимой частей импеданса от частоты (рисунок 4 а-в).

Анализ полученных результатов выявил, что для складчатого резонатора (первый образец) средний коэффициент поглощения составляет 0,903, а частота - 1946 Гц при максимальном разбросе $\alpha = 0{,}033$, резонансной частоты 16 Гц.

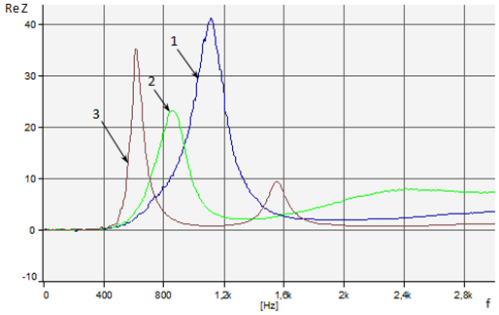
При рассмотрении результатов полученных для складчатой ЗПК с изолированными кубическим резонатором (второй образец) выявлено, что средний коэффициент поглощения составляет 0,834, а частота - 1276 Гц при максимальном разбросе $\alpha = 0{,}068$, резонансной частоты 40 Гц.

Анализ результатов, полученных для ЯП складчатой ЗПК (третий образец), выявил, что на резонансной частоте складчатой ячейки 1973 Гц значение коэффициента звукопоглощения составило 0,9995. На резонансной частоте кубического резонатора 1244 Гц значение коэффициента звукопоглощения составило 0,9999.

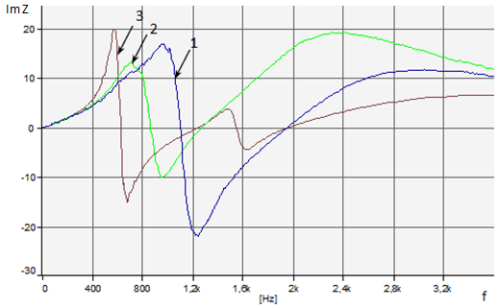
Для проведения сравнительного анализа акустической эффективности складчатой ЗПК были использованы акустические характеристики сотовой ЗПК, полученные в ранее выполненных исследовательских работах. По полученным экспериментальным результатам можно сказать, что складчатый заполнитель более эффективен, чем сотовый при нормальном падении звуковой волны. Минимальная разница акустической эффективности составила 16%.



а



б



в

Рис. 5 – Графики зависимостей: а - коэффициента звукопоглощения от частоты; б - действительной части импеданса от частоты; в - мнимой части импеданса от частоты, где 1 - складчатая ячейка, 2 - кубическая изолированная ячейка, 3 - ячейка периодичности ЗПК

Таким образом, в рамках данной работы был проведен комплекс лабораторных экспериментов по определению акустических характеристик складчатой ЗПК. Анализ полученных результатов выявил высокую акустическую эффективность при индивидуальной и совместной работе кубических и складчатых ячеек. Использование взаимно перпендикулярной, шахматной схемы расположения складчатых ЗПК исключает их взаимовлияние, при совместной работе наблюдается незначительное повышение резонансной частоты.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-38-00828.

Список литературы

1. *А.Г. Захаров, А.Н. Аношкин, А.А. Паньков, П.В. Писарев* Акустические резонансные характеристики двух- и трехслойных сотовых звукопоглощающих панелей // Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая техника. – 2016. – № 46. – С.144-159.

2. *Pisarev, P.V., Anoshkin, A.N., Pan'kov, A.A.* Effect of neck geometry of resonance cells on noise reduction efficiency in sound-absorbing structures(2016) AIP Conference Proceedings, 1770., DOI: 10.1063/1.4964061

3. *Е.С. Федотов, О.Ю. Кустов, И.В. Храмцов, В.В. Пальчиковский* Сравнительный анализ акустических интерферометров на основе расчетно-экспериментальных исследований образцов звукопоглощающих конструкций // Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая техника. – 2017. – № 48. – С.89-103.

05.11.06

П.В. Писарев[1] канд. техн. наук, А.Г. Захаров[2], А.Н. Аношкин[1] д-р техн. наук, Н.А. Мерзлякова[1]

[1]Пермский национальный исследовательский политехнический университет, аэрокосмический факультет, кафедра механики композиционных материалов и конструкций, Пермь, pisarev85@live.ru, anoshkin@pstu.ru, natasha-andreevna96@list.ru
[2]АО "Пермский завод "Машиностроитель", Пермь, a-zakharov@list.ru

ЧИСЛЕННЫЙ РАСЧЕТ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЯЧЕЕК ЗПК СКЛАДЧАТОЙ ФОРМЫ

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-5-136-139

Настоящая работа посвящена исследованию акустических характеристик кубических резонаторов складчатых звукопоглощающих конструкций (ЗПК). В процессе работы сформулированы физическая и математическая модели прогнозирования эффективных акустических, свойств ячеек ЗПК. Проведены численные эксперименты по моделированию акустической волны в модельном канале с резонаторами кубической формы.

Ключевые слова: *складчатая звукопоглощающая конструкция, кубические резонаторы, коэффициент потери акустического давления, метод конечных элементов, численное моделирование.*

Для обеспечения акустического совершенства авиационных двигателей требуется, с одной стороны, полное понимание процессов и источников возникновения шума, выявление факторов, определяющих его уровень, с другой стороны, необходим подробный анализ различных способов и мероприятий по снижению шума. Шум, создаваемый авиационным двигателем, имеет широкополосный характер с наличием тональных составляющих, существенно превышающих по уровню звукового давления широкополосные составляющие. Для снижения уровня шума двигателя в настоящее время широко используются резонансные звукопоглощающие конструкции (ЗПК), настроенные на заданный частотный диапазон. Отличительной особенностью таких конструкций являются резонаторы Гельмгольца, способные поглощать звуковые волны определённых частот в зависимости от геометрии резонаторов [1].

Поэтому при проектировании ЗПК необходимо правильно подбирать их параметры, обеспечивающие наиболее эффективное подавление шума двигателя на заданных частотах. В рамках данной работы осуществляется расчет величины демпфирующего эффекта производимого кубическими ячейками, которые представляют собой резонатор Гельмгольца различной конфигурации, в диапазоне рабочих частот 2000-2500 Гц.

Для проведения ряда вычислительных экспериментов были построены две геометрические модели, обе модели содержат канал прямоугольного сечения и присоединенный посередине канала, свободный объем ячейки (резонатора).

На рисунке 1 представлен общий вид геометрических модели где: 1- канал конечной длины, квадратного сечения по центру на одной из продольных граней расположена ячейка - 2 кубической формы, соединенная с каналом "узким" горлом - 3 цилиндрической формы.

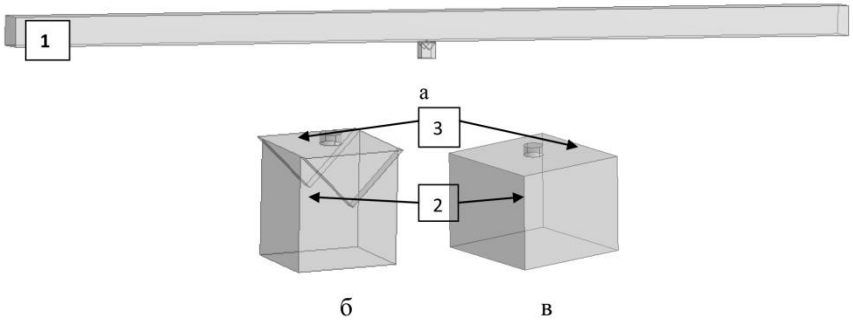


Рис. 1 - Общий вид: а – базовой геометрической модели;
б - ячейки складчатой формы (А1); в - ячейки кубической формы (А2)

Для лучшей сходимости решения и снижения погрешностей получаемых результатов применялась расчетная сетка, ячейки которой имеют форму близкую к форме равностороннего тетраэдра. Максимальный размер элемента определялся как N_{max} =343[m/s]/6[kHz]/10=0,0057 м, минимальный размер элемента принимался N_{min}= 0,0001 м, общее количество элементов составило 800 тысяч элементов.

Проведение численных экспериментов по определению акустических характеристик резонатора осуществляется посредством решения уравнения Гельмгольца [2,3]:

$$-\nabla \cdot \left(\frac{\nabla P}{\rho_0}\right) - \frac{\omega^2}{\rho_0 c^2} P = 0, \text{ где } \omega = 2\pi f \quad (1)$$

где p - начальное давление в расчетной области (1 атм.), $\omega=2\pi\nu$ - собственная частота резонатора, ρ_0 - плотность воздуха, c - скорость звука в среде, ν - частота сигнала на входе.

Волна на входе в модельный канал: задавалась в виде гармонической волны давления с амплитудой p_0.

$$\left(\frac{\nabla P}{\rho_0}\right) = \frac{i\omega}{\rho_0 c} P - \frac{2\, i\omega}{\rho_0 c} P_0 \quad (2)$$

Волна на выходе описывалась как:

$$n \cdot \left(\frac{\nabla P}{\rho_0}\right) = \frac{i\omega}{\rho_0 c} P_0 \quad (3)$$

Жесткая стенка модельного канала описывалась как:

$$n \cdot \left(\frac{\nabla P_0}{\rho_0}\right) = 0 \quad (4)$$

Коэффициент потери акустического давления на выходе из модельного канала определялся как:

$$TL = 10\log\left(\frac{P_{in}}{P_{out}}\right); \quad (5)$$

$$P_{in} = \int_{\partial\Omega} \frac{p_0^2}{2\rho c_s} dA; \quad (6)$$

$$P_{out} = \int_{\partial\Omega} \frac{|p_c^2|}{2\rho c_s} dA \quad (7)$$

По результатам вычислительных экспериментов были получены зависимости коэффициента потери акустического давления (TL) от частоты ν. На рисунке 2 представлен график зависимости для геометрической модели А1 (базовая модель диаметр горла резонатора d=2мм).

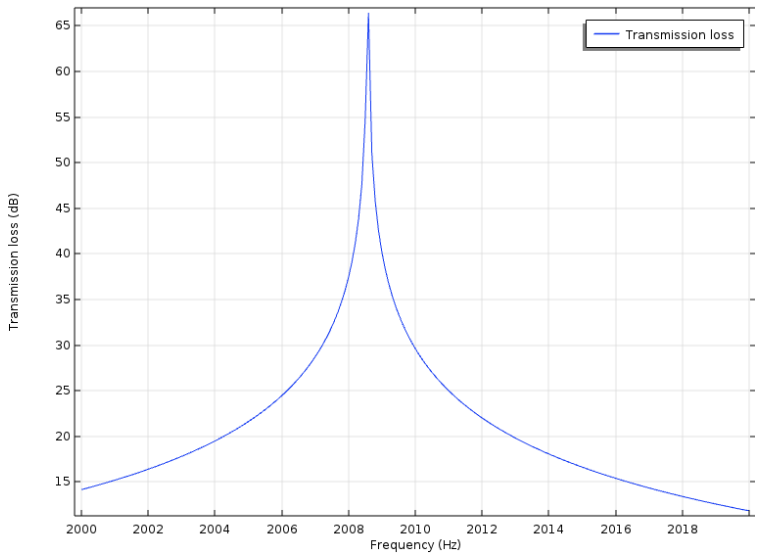


Рис. 2 - Зависимость коэффициента потери акустического давления (TL) от частоты ν для геометрической модели А1"Базовая"

Анализ зависимости показал, что резонансной частотой для данного резонатора является значение ν=2008,5 Гц, а значение коэффициента потери акустического давления (TL) составило 67 дБ.

Ниже рассмотрено поле распределения акустического давления по продольному сечению модельного канала 3.

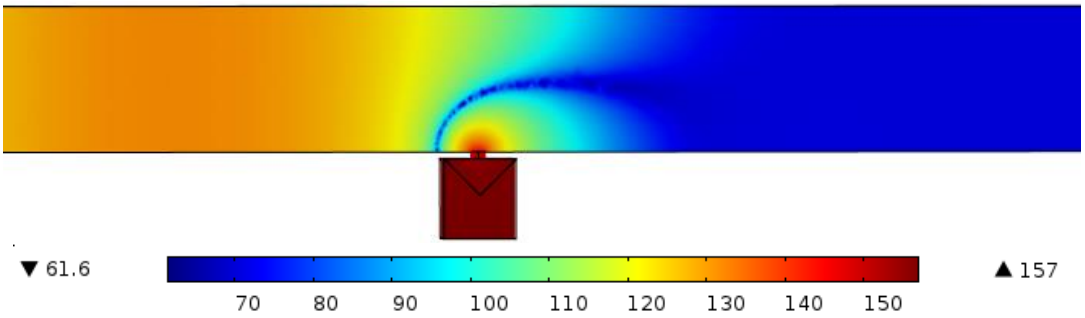


Рис. 3 - Поле распределения акустического давления по продольному сечению модельного канала (район складчатого резонатора)

На рисунке 4 представлена зависимость коэффициента потери акустического давления (TL) от частоты ν для геометрической модели А2 (Кубический резонатор, диаметр горла d=2мм). Выявлено, что резонансной частотой для данной ячейки является значение ν=1327 Гц (погрешность при сравнении с экспериментом составила 4%), а значение коэффициента потери акустического давления (*TL*) составило 60 дБ.

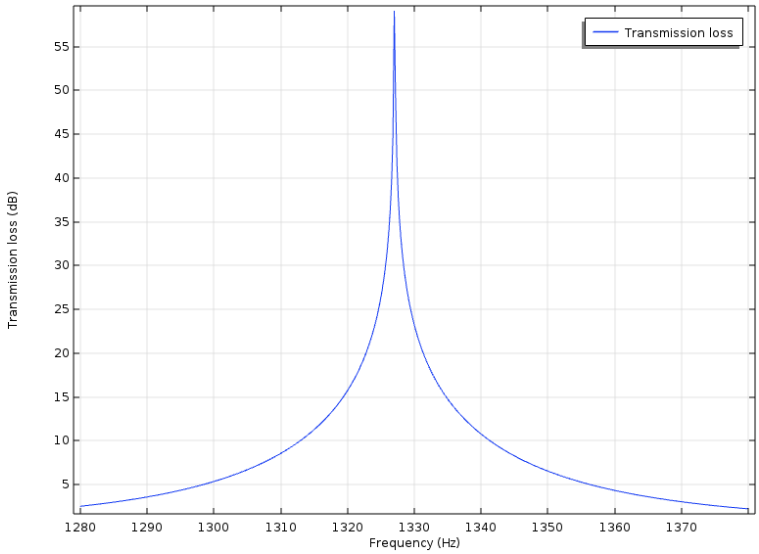


Рис. 4 - Зависимость коэффициента потери акустического давления (TL) от частоты ν для геометрической модели А2 (кубический резонатор)

Анализ полей акустического давления, полученных в рамках вычислительных экспериментов, показал, что расчетный вариант А2 имеет характерную картину течения, вместе с тем наблюдается ослабление экранирующего эффекта по сравнению с расчетным вариантом А1 (рисунок 5).

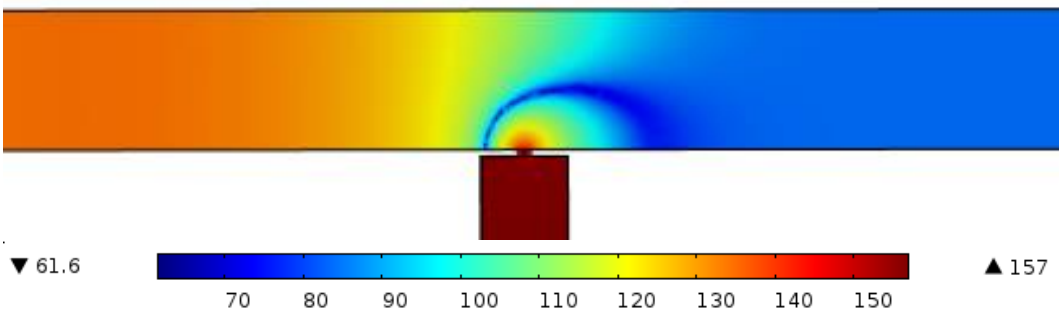


Рис. 5 - Поле распределения акустического давления по продольному сечению модельного канала (район кубического резонатора)

По результатам проведенных численных экспериментов можно сделать следующие выводы: 1) среди рассмотренных резонаторов наибольшей акустической эффективность обладает складчатый резонатор А1 *Tl*=67 дБ при резонансной частоте 2008,5 Гц. При проектировании складчатой ЗПК необходимо рассматривать его как базовый резонатор конструкции; 2) при настройке ЗПК под тональный состав шума необходимо определять оптимальные геометрические параметры резонатора, а также процент перфорации и толщину перфорированной обшивки; 3) Кубический резонатор так же обладает высокой акустической эффективностью. Значение коэффициента потери акустического давления (*TL*) составило 60 дБ при резонансной частоте ν=1327 Гц; 4) существенная разница в резонансной частоте ячеек А1 и А2, исключает взаимовлияние резонаторов и повышает широкополосность ЗПК.

Исследование выполнено в Пермском национальном исследовательском политехническом университете при поддержке государственного задания (проект No. 9.7955.2017/9.10).

Список литературы

1. *Аношкин А.Н., Захаров А.Г., Городкова Н.А., Чурсин В.А.* Расчетно-экспериментальные исследования резонансных частот многослойных звукопоглощающих конструкций // Вестник ПНИПУ. Механика. – 2015. – № 1. – С. 5–20

2. *P. V. Pisarev, A. N. Anoshkin, and A. A. Pan'kov* Effect of neck geometry of resonance cells on noise reduction efficiency in soundabsorbing structures *//Citation: AIP Conference Proceedings 1770, 030119 (2016); doi: 10.1063/1.4964061*.

3. *Захаров А.Г., Аношкин А.Н., Паньков А.А., Писарев П.В.* Акустические резонансные характеристики двух- и трехслойных сотовых звукопоглощающих панелей // Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая техника. 2016. № 46

05.11.00

О.И. Поддаева канд. техн. наук, А.Н. Федосова канд. техн. наук, С.А. Саврасов, А.Т. Каграманян

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), Учебно-научно-производственная лаборатория по аэродинамическим и аэроакустическим испытаниям строительных конструкций, Москва

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЕТРОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ В АЭРОДИНАМИЧЕСКОЙ ТРУБЕ С МАЛОЙ РАБОЧЕЙ ЧАСТЬЮ

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-5-140-143

В работе представлены результаты проведения экспериментальных исследований ветрового воздействия на строительную конструкцию типовой формы в аэродинамических трубах с различными характеристиками рабочей части (зоны размещения макета). Целью проведения настоящего исследования является оценка точности и целесообразности проведения испытаний типовых строительных конструкций повышенного уровня ответственности в аэродинамических трубах с малой рабочей частью.

Ключевые слова: *аэродинамика, аэродинамическая труба, экспериментальные исследования, ветровое воздействие, строительные конструкции.*

Аэродинамика строительных конструкций, в настоящее время, является неотъемлемой частью проектирования и расчета уникальных зданий и сооружений, а также объектов повышенного уровня ответственности [1,2,3]. Актуальность развития данного направления научно-исследовательских работ подтверждается повышением количества природных катаклизмов связанных с превышением расчетных скоростей ветра. Динамика роста опасных гидрометеорологических явлений на территории России за последние 25 лет позволяет прогнозировать дальнейшее увеличение числа крупных природных катастроф.

Активное развитие архитектурно-строительной аэродинамики как отдельного раздела строительной науки началось с середины XX века [1,4]. На сегодняшний день для большей части строящихся и проектируемых строительных конструкций существуют теоретически обоснованные аналитические методики расчета ветровой нагрузки, подробно описанные в нормативной и научно-технической литературе. Для уникальных зданий и сооружений, серьезно отличающихся от типовых по тем или иным параметрам (высота, архитектурная форма, восприимчивость к динамическим нагрузкам и др.), а также объектов повышенного уровня ответственности ветровая нагрузка рассчитывается по результатам продувок в аэродинамических трубах или путем прямого моделирования в специализированных программных комплексах [2-7]. Наиболее достоверным методом моделирования ветровой нагрузки, на данном этапе развития вычислительных технологий, является физическое моделирование в аэродинамических трубах [1, 6, 7]. В тоже время данный метод является и самым трудоемким и дорогостоящим – требуется изготовление макета строительной конструкции приспособленного для проведения испытаний, существенных трудозатрат требует подготовка эксперимента, включающая монтаж измерительных систем в теле макета и их тарировку. Как правило ветровой поток в аэродинамических трубах генерируется вентиляторными установками высокой мощности, что также вносит свою долю в общую стоимость проведения моделирования [6, 7].

В контексте данного вопроса научный интерес представляет возможность проведения испытаний в небольших аэродинамических трубах, оценка точности таких испытаний и соответственно их целесообразность.

Лаборатория по аэродинамическим и аэроакустическим испытаниям строительных конструкций (УНПЛ ААИСК) НИУ МГСУ является одной из немногих лабораторий в РФ, оснащенных аэродинамическими трубами и занимающихся проблемой моделирования ветровых воздействий в области строительства. В данной лаборатории эксплуатируются трубы с различными характеристиками.

1. Большая исследовательская градиентная аэродинамическая труба (БИГАТ) (рис.1) со следующими характеристиками:

- замкнутый контур длиной 96 м;
- длина рабочей части 18,9 м;
- сечение рабочей части 4 х 2,5 м;
- максимальная скорость потока 32 м/с.



Рис. 1 – Большая исследовательская градиентная аэродинамическая труба

2. Малая аэродинамическая труба Aerolab (МАДТ) со следующими характеристиками:

- прямоточная аэродинамическая установка без обратного канала;
- длина рабочей части 0,5 м;
- сечение рабочей части 0,3 х 0,3 м;
- максимальная скорость потока 60 м/с.

Большая исследовательская градиентная аэродинамическая труба и малая аэродинамическая труба, по сути, предназначены для выполнения одной и той же задачи: экспериментального моделирования ветрового воздействия на исследуемый объект. В каждой конкретной ситуации лишь от инженера-исследователя зависит, на какой установке будет проводиться эксперимент. При этом очевидны преимущества и недостатки использования обеих установок. В БИГАТ есть возможность испытания модели в меньшем масштабе (1:50 – 1:150) с более подробным воспроизведением архитектурных характеристик и соответственно получением более точной картины обтекания сооружения ветровым потоком. В тоже время не всегда повышенный уровень ответственности строительной конструкции объясняется ее уникальной формой, очень часто данный класс присваивается сооружению исходя из особенности технологических процессов, происходящих на объекте (промышленные предприятия) или его принадлежности к отдельным отраслям инфраструктуры (транспортная, аэро-космическая и др.). В данных случаях необходимо проведение исследований для зданий и сооружений типовой формы, что позволяет нам несколько упростить технологию проведения эксперимента и соответственно открывает возможности для использования аэродинамической трубы с небольшой рабочей частью.

В целях обоснования целесообразности полноценного использования МАДТ было проведено экспериментальное исследование ветрового воздействия на здание простейшей геометрической формы в МАДТ и БИГАТ, затем была произведена валидация показаний МАДТ с показаниями БИГАТ.

Размеры макетов исследуемого объекта, а также нумерация и расположение контрольных точек на их поверхности приведены на рис.2. Макеты обдувались в аэродинамических трубах под тремя различными углами атаки (рис. 2). Скорость потока при этом находилась в пределах зоны автомодельности [5].

В результате проведения исследований и последующих вычислений получены значения аэродинамического коэффициента *Ср* [9,11]. На рис. 3 представлено графическое сравнение величин *Ср*, полученных в результате экспериментов в МАДТ и БИГАТ.

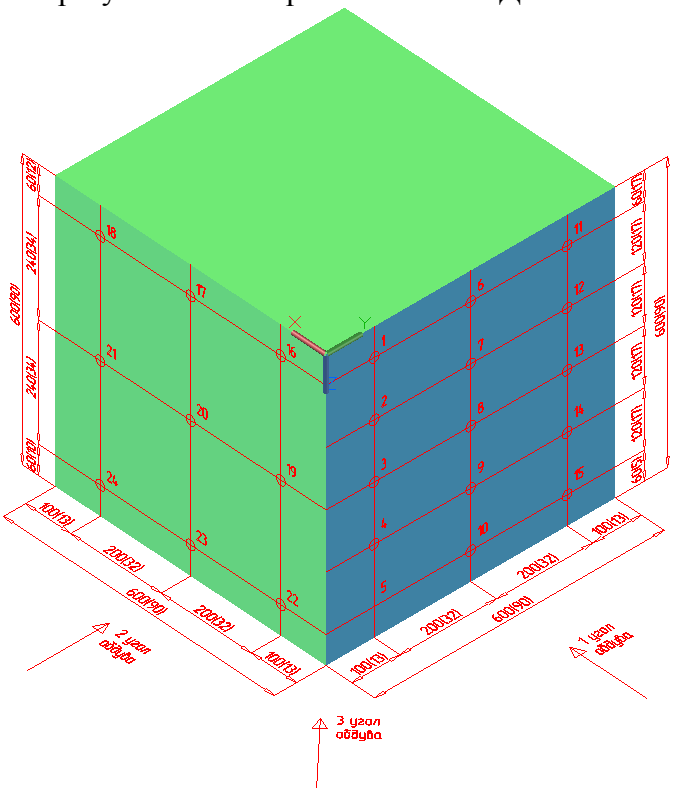


Рис. 2 – Габариты макетов для БИГАТ (МАДТ) и расположение датчиков. (Размеры даны в мм.)

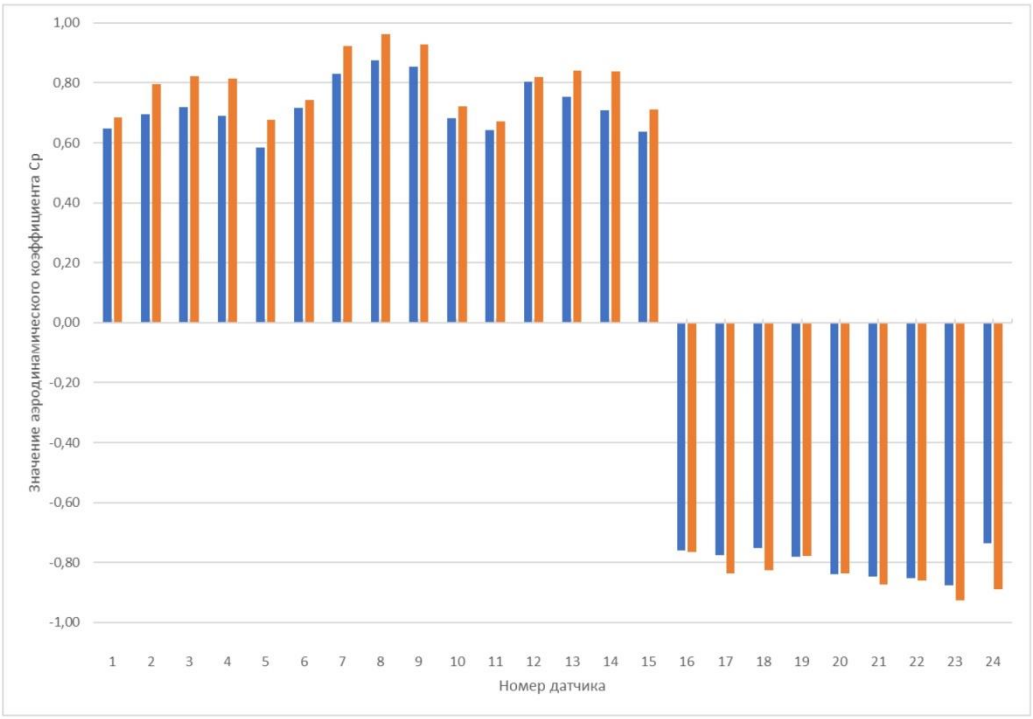


Рис. 3 – Значения аэродинамических коэффициентов по результатам испытаний в МАДТ и БИГАТ при расположении датчиков 1-15 на наветренной стороне

Полученные результаты показывают достаточно хорошую сходимость в пределах 10-15%, что позволяет говорить о возможности проведения аэродинамических исследований ветрового воздействия на типовые строительные конструкции повышенного уровня ответственности в аэродинамических трубах с малой рабочей частью, в условиях сжатых сроков проведения работ.

Список литературы

1. Поддаева О. И., Дуничкин И. В. Архитектурно-строительная аэродинамика // Вестник МГСУ. – 2017. – Т. 12. – №. 6 (105).

2. СП 20.13330.2011. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*

3. *Tieleman H. W.* Wind tunnel simulation of wind loading on low-rise structures: a review //Journal of wind engineering and industrial aerodynamics. – 2003. – Т. 91. – №. 12-15. – С. 1627-1649.

4. Бергер И. А., Павловский С. С., Харитонова Е. Н. Влияние ветровых нагрузок и аэродинамических характеристик при проектировании зданий и сооружений // Проблемы эффективности и безопасности функционирования сложных технических и информационных систем. – 2017. – С. 17.

5. Автух В. П. Исследование влияния ветрового потока на здания и сооружения : дис. – Южно-Уральский государственный университет, 2017.

6. *Krishna P.* Wind loads on low rise buildings—A review //Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. – 1995. – Т. 54. – С. 383-396.

7. *Stathopoulos T., Surry D.* Scale effects in wind tunnel testing of low buildings //Wind Engineering 1983, Part 3A. – 1984. – С. 313-326.

05.11.13

Т.Р. Сахбиев

Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева – КАИ, кафедра радиофотоники и микроволновых технологий,
Казань, microoil@mail.ru

ОПТИЧЕСКИЕ ВЕКТОРНЫЕ АНАЛИЗАТОРЫ СЕТЕЙ СИММЕТРИЧНОГО ТИПА

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-5-144-147

В статье рассмотрены принципы построения оптических векторных анализаторов сетей (ОВАС) симметричного типа на основе амплитудно-фазового преобразования несущей, позволяющего повысить точность измерений амплитудных, частотных и фазовых характеристик исследуемых элементов. В отличие от существующих ОВАС указанного типа в первом варианте используется соотношения по двум равным по амплитуде боковым составляющим зондирующего излучения, предварительно расщепленных на величину в 50-100 МГц. Во втором варианте используется преимущество схемы амплитудного модулятора Маха-Цендера (АММЦ) – формировать различный спектр выходного излучения при смещении в различные рабочие точки. При этом излучение оптической несущей может быть подавлено, либо последняя может быть использована как гетеродин, а диапазон измерения повышен в два раза по сравнению с однополосными схемами.

Ключевые слова: *микроволновая фотоника, оптический векторный анализатор сетей, амплитудно-фазовое преобразование оптической несущей в симметричное двухчастотное излучение, расщепление боковых составляющих, диапазон измерений.*

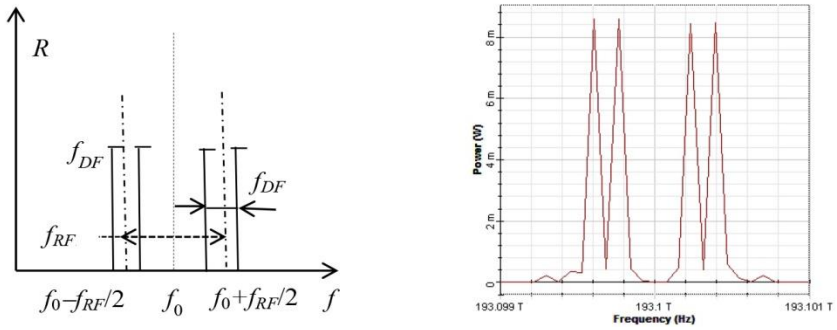
Введение. Современный этап развития ОВАС характеризуется преимущественным применением модуляционных схем двухчастотного сбалансированного и симметричного типа [1-3]. По сравнению с ОВАС однополосного типа они имеют возможность простой реализации, измерения полосовых оптических элементов, в том числе, широкополосных, исключающего влияние на параметры измерений составляющих высшего порядка. По сравнению с ОВАС симметричного разбалансированного типа исключается необходимость применения специальных фильтров, позволяющих одновременную раздельную перестройку средней частоты и полосы частот.

В данной работе нами предложено использовать амплитудно-фазовое модуляционное преобразование (АФМП) оптической несущей по методу Ильина-Морозова [4-8], характеризующееся высокими коэффициентом ее преобразования в двухчастотное сбалансированное симметричное излучение, спектральной чистотой и возможностью получения разностной частоты, равной частоте модуляции.

Известно, что полностью симметричные схемы ОВАС не работоспособны и требуют введения либо сдвинутой по частоте несущей (гетеродина), либо возможности получения различных амплитуд зондирующих составляющих при двукратных измерениях по различным измерительным схемам.

В данной работе нами рассмотрены два варианта ОВАС симметричного типа. В первом варианте для проведения анализа после фотоприемника с помощью электрического векторного анализатора сетей (ЭВАС) полученные составляющие расщепляются [9] на частоту 50-100 МГц для обеспечения работы ОВАС в режиме квази-смещенной несущей. Во втором варианте используется преимущество схемы амплитудного модулятора Маха-Цендера (АММЦ) – формировать различный спектр выходного излучения при смещении в различные рабочие точки.

Принцип расщепления боковых составляющих. Принцип расщепления заключается в создании в каждой боковой составляющей [3], полученной с помощью амплитудно-фазовой модуляции, реализованной по методу Ильина-Морозова, оптической несущей, двух (рис. 1,*а*), разнесенных на f_{DF}=50-100 МГц в электрооптическом амплитудном модуляторе Маха-Цендера (АММЦ), работающем в «нулевой рабочей» точке. Далее их центральные частоты, разнесенные на f_{RF}, будут изменяться в диапазоне измерения и сканировать амплитудно- и фазо-частотный контура исследуемого элемента.



а *б*

Рис. 1. Расщепление боковых частот симметричного излучения:
а – схема расщепления; б – результат моделирования в среде OptiSystem

На рис. 1,б показано расположение расщепленного сканирующего излучения смоделированного в среде OptiSystem. Выбор частоты в 50-100 МГц объясняется возможностью получения результирующей погрешности измерений в 0,1% от полосы при зондировании широкополосных полосовых ВОС. Для мониторинга узкополосных ВОС необходимо расщепление частот в единицы МГц, что накладывает определенные ограничения на полосу излучения лазера, которая должна лежать в области десятков кГц.

Для обеспечения работы ОВАС в режиме с квази-смещенной несущей векторные характеристики измеряются дважды: первый раз – после прохождения ИЭ двухполосным АМ-излучением с тремя компонентами без расщепления, второй раз – с нерасщепленной несущей, которая заводится в ИЭ, как гетеродин. В последнем случае для анализа выбираются только нижние или только верхние расщепленные компоненты обоих полос. При этом положением частот можно управлять, поскольку шаг перестройки дискретен и составляет, например, 10 МГц для Agilent E8267D, что позволяет на каждом шаге измерения задавать равное положение нерасщепленной компоненты и выбранной расщепленной.

Принцип работы ОВАС с изменением рабочей точки АММЦ. При работе ОВАС по первой измерительной схеме симметричное АМ-излучение получается при работе АММЦ на линейном участке (рис. 2, V_1 – смещение линейного участка). При работе ОВАС по второй измерительной схеме АМ-излучение с подавленной несущей получается при работе АММЦ со смещением V_1 для «нулевой» точки. Восстановление несущей происходит, как и в первом варианте, по схеме гетеродина (оптические переключатели не показаны, чтобы не загромождать рис. 2).

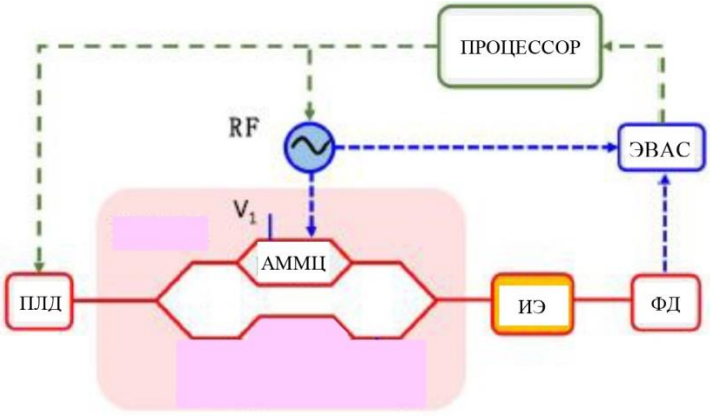


Рис. 2. Структурная схема ОВАС с изменением рабочей точки АММЦ

Далее с выхода модулятора АМ-излучение поступает на исследуемый элемент (ИЭ). Для формирования диапазона измерений по длине волны и сканирования по частоте *RF* используется перестраиваемый лазер ПЛД и ЭВАС, соединяющий выход фотоприемника ФД и вход АММЦ, реализующего амплитудно-фазовую модуляцию оптической несущей по методу Ильина-Морозова в «нулевой» рабочей точке [4]. АММЦ может быть заменен на тандем АММЦ-ФММЦ, в этом случае параметры выходного излучения отличаются высокими коэффициентом преобразования несущей в двухчастотное сбалансированное симметричное излучение, спектральной чистотой и возможностью получения разностной частоты, равной частоте модуляции. В ИЭ амплитуды и фазы полученных составляющих изменяются в соответствии с их амплитудно- и фазо-частотными характеристиками.

Измеряя с помощью ЭВАС продетектированное излучение дважды на каждой из боковых частот, может быть сформирована матрица, по которой вычисляется передаточная функция $H(\omega)$ исследуемого элемента. Ток на выходе ФД при различных измерительных схемах (ослаблениях) зондирующих компонент двухчастотного излучения можно представить, как:

$$\begin{bmatrix} i_1(\Omega) \\ i_2(\Omega) \end{bmatrix} \propto \begin{bmatrix} a_1 E_0 E_{-1}^* H(\omega_0) & E_0 E_1 H^*(\omega_0) \\ a_2 E_0 E_{-1}^* H(\omega_0) & E_0 E_1 H^*(\omega_0) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} H^*(\omega_0 - \Omega) \\ H(\omega_0 + \Omega) \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где $E_0, E_{\pm 1}$- амплитуда соответственно не до конца подавленной несущей и боковых составляющих (нижней и верхней). Ключевой момент рассматриваемой технологии заключается в том, что передаточные характеристики на частотах нижней и верхней составляющих будут различны, следовательно, детерминант матрицы не равен 0, а указанные характеристики будут определяться как

$$H(\omega_0 + \Omega) = \left[a_2 i_1(\Omega) - a_1 i_2(\Omega)\right] / \left(a_1 - a_2\right) E_0 E_1 H^*(\omega_0), \quad (2)$$

$$H^*(\omega_0 - \Omega) = \left[i_1(\Omega) - i_2(\Omega)\right] / \left(a_1 - a_2\right) E_0 E_{-1}^* H\ (\omega_0). \quad (3)$$

Поскольку ослабления a_1 (первый вариант) и a_2 (второй вариант) известны, $H(\omega_0)$ – комплексная постоянная, комплексные амплитуды $E_0, E_{\pm 1}$ определяются в процессе калибровки, перестройка Ω с помощью ЭВАС позволяет с точностью до единиц Гц (при бесконечно малой полосе излучения лазера) измерить амплитудные и фазовые параметры ИЭ $H(\omega)$.

Отличие измерительных схем заключается в работе измерительной схемы во втором варианте как двухчастотной в режиме гетеродина [3], что повышает отношение сигнал/шум измерений. При работе ОВАС по схеме с гетеродинированием и равенстве амплитуд модулирующих напряжений, часть оптической несущей с выхода лазера может поступать и напрямую, на вход ФД. Поэтому выбор амплитуд сканирующих излучений и уровня несущей (ослабление $a_{н1}$ и $a_{н2}$) должны определяться на стадии калибровки для получения максимальной чувствительности схемы. При изложении материала принято $a_{н1} = a_{н2}$.

Заключение. Предложены новые варианты измерительных схем ОВАС симметричного типа с расщеплением составляющих и квази-смещением несущей частоты, ее гетеродинным включением и упрощенной структурой реализации ОВАС в целом. При этом чувствительность ОВАС может быть улучшена по сравнению с известными за счет подбора энергетических коэффициентов ослабления a_1 и $a_{н1}$ (первый вариант) и a_2 и $a_{н2}$ (второй вариант).

Работа выполнена при поддержке МОН РФ в рамках госзадания на выполнение НИР в КНИТУ-КАИ на 2017-2019 годы (программа «Асимметрия», задание 8.6872.2017/8.9).

Список литературы

1. *M. Wang, J. Yao.* Optical vector network analyzer based on unbalanced double-sideband modulation // IEEE Photon. Techn. Lett. 2013. V. 25. № 8. P. 753-756.
2. *W. Jun, et al.* Optical vector network analyzer based on double-sideband modulation // Optics Letters. 2017. V. 42. № 21. P. 4426-4429.
3. *Morozov O.G., et al.* Optical vector network analyzer based on amplitude-phase modulation // Proc. of SPIE. 2016. V. 9807. P. 980717.
4. *Морозов О.Г., Айбатов Д.Л., Садеев Т.С.* Синтез двухчастотного излучения и его применения в волоконно-оптических системах распределенных и мультиплексированных измерений // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2010. Т. 13. № 3. С. 84-91.
5. *Морозов О.Г., Ильин Г.И.* Амплитудно-фазовая модуляция в системах радиофотоники // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2014. № 1 (20). С. 6-42.
6. *Morozov O.G., et al.* Methodology of symmetric double frequency reflectometry for selective fiber optic structures // Proc.of SPIE. 2008. V. 7026. P. 70260I.
7. *Morozov O.G., et al.* Metrological aspects of symmetric double frequency and multi frequency reflectometry for fiber Bragg structures // Proc. of SPIE. 2008. V.7026. P.70260J.
8. *Сахбиев Т.Р. и др.* Полигармонический мониторинг толщины тонких пленок // Научно-технический вестник Поволжья. 2017. № 2. С. 53-55.
9. *Иванов А.А. и др.* Измерение мгновенной частоты множества микроволновых сигналов на основе методов вынужденного рассеяния Мандельштама-Бриллюэна и предварительного двухчастотного расщепления // Известия высших учебных заведений. Физика. 2017. Т. 60. № 12-2. С. 130-134.

05.11.00

А.С. Шарафутдинов, Ю.И. Шакиров канд. техн. наук, Р.И. Валиев, А.А. Хафизов, Л.Н. Дрогайлова

Набережночелнинский институт (филиал)
Казанского (Приволжского) федерального университета,
факультет энергетики и информатизации, кафедра электроэнергетики и электротехники,
г. Набережные Челны, crysis-core@mail.ru

ПОТЕНЦИАЛ РАЗВИТИЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-5-148-152

В работе представлено изучение розы ветров и среднегодовой скорости ветра на территории Республики Татарстан, с целью определения потенциала развития ветроэнергетики в данном регионе. По полученным результатам произведен выбор типа ветродвигателя.

Ключевые слова: *ветродвигатель, роза ветров, скорость ветра.*

Введение

Во всем мире с каждым днем все больше внимания уделяется альтернативным источникам электроэнергии. Одним из наиболее распространенных источников возобновляемой энергии является ветер на ряду с солнечной и геотермальной энергетикой. Во всем мире уже широко распространена ветроэнергетика, преимущественно в Европе и Китае. Россия тоже активно занимается этим вопросов, на данный момент крупнейшие ветряные электростанции (ВЭС) находятся на территории Ульяновской и Калининградской областей. Территории Республики Татарстан (РТ) тоже считается перспективной для создания ВЭС, в связи с этим анализ ветряных ресурсов региона является актуальной задачей.

Нами был проведен анализ направления ветров за летний и зимний периоды на территории Республики Татарстан.

Все среднестатистические данные повторяемости направлений ветра и штилей в течение года в РТ представлены в таблице 1.

Таблица 1- Повторяемость направлений ветра.

Населенный пункт	В январе, %								В июле, %							
	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
Казань	11	4	6	20	28	12	13	6	16	13	11	10	10	8	14	18
Бугульма	6	8	3	9	28	31	10	5	17	15	5	7	9	14	15	18
Буинск	6	6	5	16	26	18	13	10	19	11	12	9	7	10	12	20
Набережные Челны	9	9	10	14	16	9	18	15	16	14	9	9	9	10	15	18
Среднегодовое направление ветра	8	6	6	14	25	18	14	9	17	13	9	9	9	10	14	19

Согласно среднегодовым показателям в регионе, в январе наибольшую продолжительность действия ветра имеют южное (25% января) и юго-западное направление (18% января). Наименьшую длительность ветров имеет северо-восточное направление (6% января) и восточное (6% января).

В июле наибольшую продолжительность действия ветра имеют северно-западное (19% июля) и северное направление (17% июля). Наименьшую длительность ветров имеет южное направление (9% июля) и восточное (9% июля).

Вместе с направлением ветра рассмотрели скорость ветра в данном регионе. Данные о среднегодовых скоростях ветра служат исходной характеристикой общего уровня интенсивности ветра. Однако необходимо иметь в виду, что скорость ветра зависит от

рельефа местности, шероховатости поверхности, наличия затеняющих элементов, высоты над поверхностью земли. Ветровой климат России в силу обширности ее территории, многообразия климатических и рельефных условий отличается многообразием [1].

В таблице 2 представлена средняя месячная скорость ветра на территории РТ, исходя из данных в таблице можно судить о применении различных типов ветроэнергетических установок.

Таблица 2- Средняя месячная скорость ветра (м/с).

№	Районы	Месяцы												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Год
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	Агрыз	3,6	3,6	3,7	3,2	3,7	3,4	2,8	2,8	3,2	3,6	3,3	3,6	3,4
2	Балтаси	5,8	5,5	5,9	5,0	4,6	4,1	3,4	3,5	4,6	5,3	5,5	5,8	4,9
3	Арск	5,0	4,8	5,0	4,3	4,7	4,1	3,6	3,7	4,3	4,8	4,8	4,9	4,5
4	Вязовые	6,2	5,6	6,0	5,2	5,3	4,6	4,5	4,6	5,5	5,9	5,8	6,3	5,5
5	Елабуга	3,6	3,7	4,0	3,7	4,1	3,8	3,4	3,2	3,6	4,0	3,8	3,8	3,7
6	Казань	4,8	4,6	4,7	4,1	4,4	3,7	3,4	3,5	4,0	4,5	4,5	4,6	4,2
7	Актаныш	4,8	5,0	5,6	4,5	4,5	3,8	3,6	3,2	4,0	4,7	4,7	5,0	4,4
8	Мамадыш	4,4	4,3	4,4	4,0	4,4	4,1	3,5	3,4	3,8	4,5	4,4	4,5	4,1
9	Лаишево ст	5,1	4,7	5,1	4,5	4,1	3,5	3,0	3,0	4,1	4,9	5,0	5,1	4,3
10	Мензелинск	5,2	4,5	4,9	3,6	4,1	3,4	2,9	2,9	3,7	4,4	4,2	4,8	4,0
11	Б.Кайбицы	5,6	5,3	5,7	5,0	5,0	4,2	3,4	3,5	4,7	5,2	5,3	5,7	4,9
12	Лаишево	4,4	4,5	4,0	3,0	4,1	3,9	3,3	3,9	4,2	4,5	4,1	5,4	4,1
13	Чистополь	4,9	5,4	5,2	4,7	4,5	4,0	3,0	3,0	3,8	4,8	4,6	5,0	4,4
14	Муслюмово	4,3	3,5	3,9	3,5	3,8	3,3	2,6	2,8	3,4	4,0	3,7	4,0	3,6
15	Чист. ГМС	6,2	5,7	5,9	4,7	4,9	4,1	3,6	3,7	4,6	5,2	5,3	5,9	5,0
16	Сарман	4,7	4,5	5,6	4,6	4,5	4,1	3,8	3,6	4,0	4,7	4,4	4,6	4,4
17	Новошеш	4,3	4,9	5,0	4,4	4,6	3,9	3,7	3,7	4,0	4,5	4,3	4,5	4,3
18	Слоб. Петр	3,9	3,3	3,7	3,3	3,7	3,2	2,6	3,0	3,4	3,7	3,5	4,1	3,4
19	Акташ	4,0	3,2	3,8	3,2	3,7	3,0	2,4	2,4	3,0	3,6	3,4	4,0	3,3
20	Буинск	4,4	3,8	4,2	3,6	4,1	3,3	3,0	3,0	3,7	3,8	4,0	4,6	3,8
21	Тетюши	4,9	4,6	4,8	4,1	4,1	3,6	3,2	3,5	4,3	4,7	4,5	4,9	4,3
22	Азнакаево	4,2	3,5	4,0	3,4	3,8	3,5	2,7	2,9	3,5	4,2	4,0	4,2	3,7
23	Отрада	5,1	4,9	5,0	4,4	4,5	3,6	3,2	3,3	3,9	4,4	4,6	5,0	4,3
24	Аксубаево	4,9	4,7	5,1	3,9	4,2	3,6	3,1	3,1	3,8	4,6	4,2	5,2	4,2
25	Дрожжаное	5,6	5,4	5,4	4,7	4,8	4,1	3,5	3,9	4,2	4,8	4,9	5,7	4,8
26	Черемшан	4,8	4,7	5,0	4,3	4,5	3,8	3,3	3,3	3,9	4,6	4,6	5,3	4,3
27	Бугульма	5,7	5,6	6,0	4,8	4,6	3,9	3,3	3,2	4,2	5,1	5,0	5,8	4,8
28	Чулпан	5,0	4,9	5,1	4,4	4,4	3,7	3,3	3,3	3,8	4,4	4,5	5,0	4,3
29	Бегишево	6,2	6,0	5,7	6,1	5,6	4,7	4,7	4,8	5,2	6,5	6,2	6,4	5,7
30	Средняя скорость ветра по РТ	4,9	4,6	4,9	4,2	4,4	3,8	3,3	3,3	4,0	4,6	4,5	5,0	4,3

Исходя из таблицы 2, наибольшая среднемесячная скорость ветра, на территории РТ, наблюдается в зимний период с декабря до марта, наименьшая с июня по август.

На территории РТ в течении года преобладают средние ветра, среднегодовая повторяемость сильных ветров намного меньше повторяемости слабых ветров, в то же время, есть процент сильных ветров, которые отчасти компенсируют ситуацию со слабыми ветрами. Так же имеются районы с преобладанием сильных ветров, которые являются перспективными для развития ветроэнергетики.

Исходя из данных таблиц 1 и 2 построили карту ветров РТ, с указание на ней наиболее перспективных областей для строительства ВЭС с учетом направления и скорости ветра (Рис. 1).

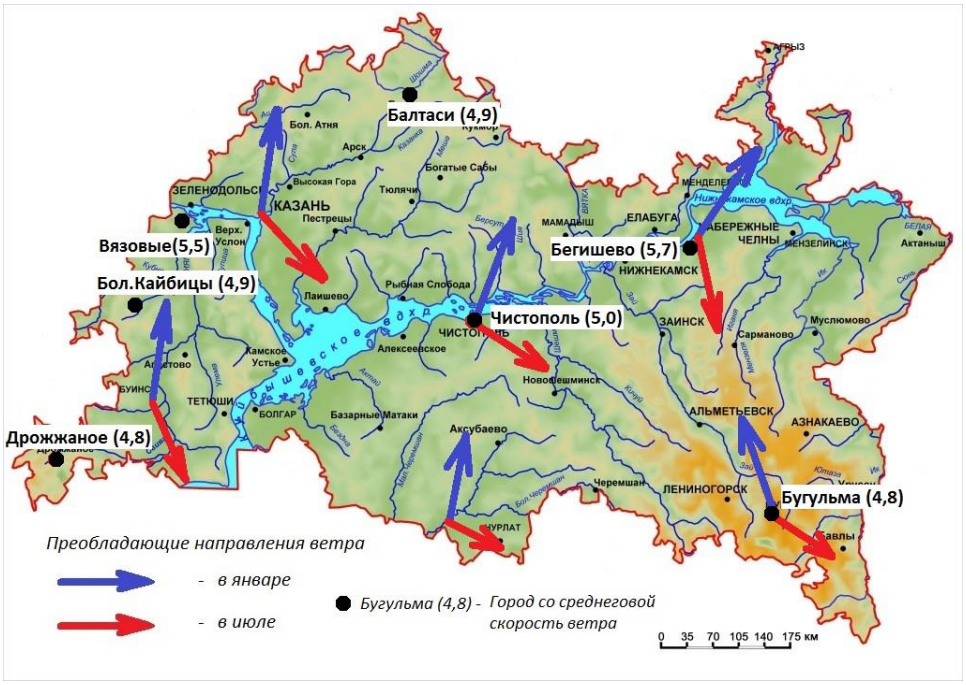


Рис. 1- Карта ветров Республики Татарстан

Наиболее подходящими были приняты Балтасинский, Бугульминский, Верхнеуслонский, Дрожжанский, Кайбицкий, Тукаевский, Чистопольский районы, поскольку в данных районах наибольшая среднегодовая скорость ветра в РТ.

В результате проведенного анализа ветроэнергетических ресурсов РТ, необходимо устанавливать ветровые установки с высоким КПД на низких оборотах ротора, для получения большей энергии от преобладающих средних ветров. Исходя из вышесказанного, выбирали ветродвигатель роторного типа с вертикальной осью вращения с сопловой системой воздухозаборника и эжекторами (Рис. 2). Вертикально – осевая конструкция с большим количеством лопастей делает его чувствительным даже к очень слабому ветру. Эффективность таких ветродвигателей очень высокая [2]. Данный вид ветродвигателя является модульным, это значит, что на одну ось вращения можно установить два и более ветродвигателей в зависимости от нужд потребителя.

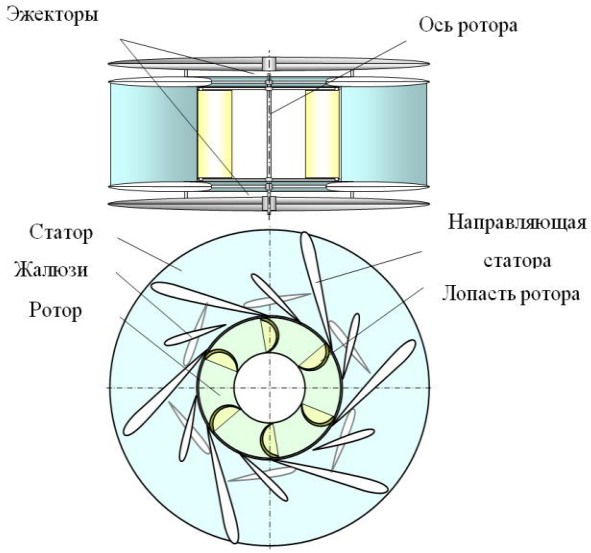


Рис. 2- Ветродвигатель роторного типа с вертикальной осью вращения с сопловой системой воздухозаборника и эжекторами

Определили максимальную мощность лопатки выбранного нами ветродвигателя. Рассматривался ротор с изогнутыми профилированными лопастями, где 1 - ось вращения ротора, 2 - лопасть, 3 - точка приложения равнодействующей сил давления ветра (Рис. 3) [3].

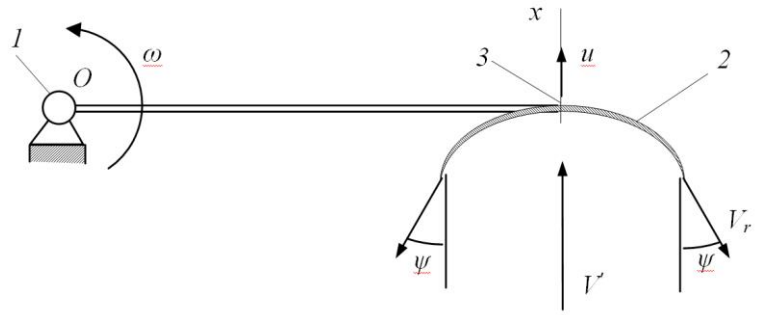


Рис. 3- Схема поперечного сечения одной лопасти ротора ветродвигателя

Мощность получаемая от воздушного потока одной лопаткой равна:

$$N=0,5\rho\xi S(1+\cos\psi)(V-u)^2u \quad (1)$$

где ρ - плотность воздуха; S - площадь проекции лопасти на плоскость, перпендикулярную оси x; V - скорость воздуха; u - окружная скорость центра давления; ξ - коэффициент использования.

Считая скорость ветра V заданной, определим скорость u, при которой мощность имеет максимальное значение. Из условия $\frac{dN}{du}=0$ получим:

$$3u^2-4Vu+V^2=0.$$

Решая это квадратное уравнение, найдем, что при

$$u=\frac{V}{3} \quad (2)$$

достигается максимальная мощность, а при $u=V$ мощность равна нулю. Подставляя (2) в (1), найдем максимальное значение мощности одной лопасти:

$$N=\frac{4}{27}\rho\xi S(1+\cos\psi)V^3 \quad (3)$$

Подставляя значение ρ=1,23 кг/м^3, имеем:

$$N=0,182(1+\cos\psi)SV^3.$$

Полученное выражение представляет собой ту мощность, которую может приобрести лопасть ротора ветродвигателя.

В таблице 3 приведены изменения удельной мощности N лопасти от скорости ветра V и лопасти u [3].

Таблица 3- Удельная мощность лопастей (Вт/кв.м)

Удельная мощность N (Вт/кв.м) *N=0,5pξS(1+cos60)*(V-u)^2*u*					
V(м/с)	Скорость лопасти u (м/с)				
	0,1	2	4	6	8
1	2	3	4	5	6
0,5	0,024	-	-	-	-
2	0,536	0	-	-	-
4	2,259	11,88	0	-	-
6	5,169	47,52	23,76	0	-
8	9,268	106,9	95,04	35,64	0

Средняя мощность выдаваемая ветродвигателем за определенный период вычисляется согласно формуле:

$$N_{\text{ср}}=0,5\rho\xi S\left(\frac{v_1+v_2+v_3+\cdots+v_n}{n}\right)^3 \quad (4)$$

Но ветродвигатель будет иметь максимальный КПД, лишь при расчете мгновенной мощности:

$$N_{\text{мгн}} = 0{,}5\rho\xi S\left(\frac{v_1^3+v_2^3+v_3^3+\cdots+v_n^3}{n}\right) \quad (5)$$

Для выполнения данного условия в выбранном нами ветродвигателе была установлена система электрической стабилизации.

Ранее было сказано что для обеспечения максимальной мощности ВЭС должно выполняться условие (2). Это условие будет выполнено, если

$$\omega_д = 3\,\omega_P, \quad (6)$$

где $\omega_д$ и ω_P - угловые скорости вращения датчикового и рабочего роторов соответственно. Это условие равносильно условию

$$n_д = 3\,n_P, \quad (7)$$

где $n_д$ и n_p - число оборотов роторов соответственно.

Для сохранения соотношения (7) используется система счета и сравнения числа импульсов, по средствам установки датчикового ротора на валу рабочего ротора ветродвигателя. На ободе роторов устанавливаются постоянные магниты, а на неподвижном статоре, на уровне этих магнитов, закреплены бесконтактные датчики Холла импульсов (Рис. 4) [3].

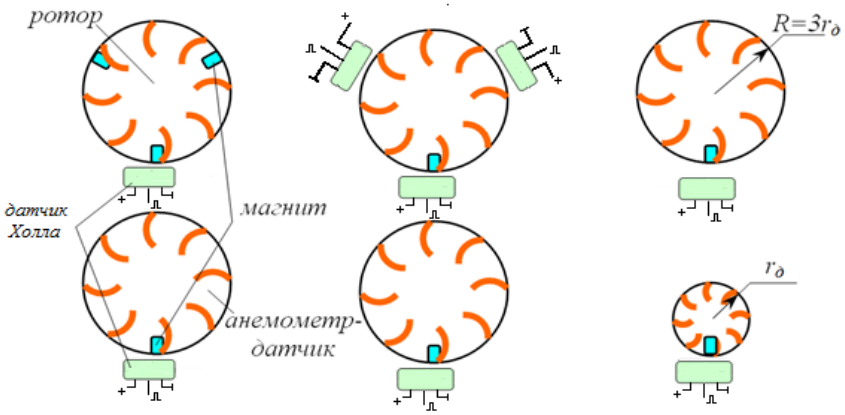


Рис. 4- Варианты схем расположений датчикового и рабочего роторов

При прохождении магнита мимо датчика Холла, на выходе датчиков ротора ветродвигателя и датчика анемометра появляется импульс. Сравнивающее устройство определяет опережение или отставание n_P от $n_д$. Система управления при этом создает торможение или разгрузку ротора ветродвигателя с помощью нагрузки.

Заключение

Исследование показала, что ветряные ресурсы Республики Татарстан имеют хорошие перспективы для развития ветроэнергетики в регионе. Промышленные ВЭС рекомендуется строить в Балтасинском, Бугульминском, Верхнеуслонском, Дрожжанском, Кайбицком, Тукаевском и Чистопольском районах. Для установки рекомендуются ветродвигатели роторного типа с вертикальной осью вращения с сопловой системой воздухозаборника и эжекторами. Данная ВЭС имеет наибольшее КПД для ветряных ресурсов РТ за счет конструкции ротора, модульности ветродвигателя и электрической стабилизации.

Список литературы

1. Скорости ветра в России и строительство ветряных электростанций (ВЭУ) [Электронный ресурс] // Компания Новая Генерация: сайт. URL: http://www.manbw.ru/analitycs/windrus.html (Дата обращения: 10.02.18)

2. Основные виды ветрогенераторов: вертикальные, горизонтальные [Электронный ресурс] // ЧИП – Все об альтернативной энергетике: сайт. - URL: https://tcip.ru/blog/wind/osnovnye-vidy-vetrogeneratorov-vertikalnye-gorizontalnye.html (Дата обращения: 10.05.18)

3. Автоматизированные системы производства сжатого воздуха и электроэнергии с применением ветроэнергоустановок / Н. С. Галимов. - СПб. : Инфо-да, 2004 (Центр Оперативной полиграфии). - 215 с.

05.11.13

А.Г. Шляхова канд. техн. наук, А.Т. Шляхов канд. физ.-мат. наук, Ю.Б. Греков

Альметьевский государственный нефтяной институт,
энергомеханический факультет,
кафедра нефтегазового оборудования и технологии машиностроения,
Альметьевск, 9274573382@mail.ru

ИЗМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ ПЛЕНОК PbSnTe ПРИ ОБЛУЧЕНИИ ИНФРАКРАСНЫМ ЛАЗЕРОМ

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-5-153-156

Исследованы процессы инверсии типа проводимости в эпитаксиальных плёнках $Pb_{1-x}Sn_xTe$ при воздействии непрерывного излучения CO_2 – лазера (λ=10,6 мкм) допороговой мощности. Предполагается, что стабильное инверсионное состояние возникает вследствие образования нейтральных бивакансий металла и халькогена.

Ключевые слова: *эпитаксиальные пленки, инверсия типа проводимости, инфракрасное лазерное излучение, вакансии.*

Актуальность. В полупроводниковых соединениях A^4B^6, A^3B^5 [1] структурные дефекты существенно влияют на электрофизические свойства. Однако, избыток собственного компонента резко ухудшает качество материалов [2-4]. К неразрушающим методам преобразования объёмных свойств полупроводниковых кристаллов можно отнести лазерное воздействие с энергией кванта излучения меньшей ширины запрещенной зоны полупроводника ($\hbar\omega < E_g$) [5] .

Эксперимент. В настоящей работе воздействию лазерного излучения подвергались эпитаксиальные пленки p-$Pb_{0.8}Sn_{0.2}Te$, полученные методом "горячей стенки" на подложке BaF_2 с ориентацией (111). Перед началом эпитаксии объем с реакционной камерой откачивался до давления ~ $2\cdot10^{-6}$ Тор. Температура подложки составляла 240°С. Источник нагревался до 550°С, стенка имела температуру на десять градусов выше. Дополнительный источник теллура был введен для изменения концентрации дырок в образцах.

Исследуемые эпитаксиальные слои представляли собой квадраты со стороной 5 мм, толщина пленок 10÷40 мкм. Лазерный «отжиг» эпитаксиальных пленок осуществлялся в вакуумированной камере при комнатной температуре. Для облучения использовался CO_2-лазер, работающий в непрерывном режиме, длина волны излучения λ = 10,6 мкм ($\hbar\omega$=0,118 эВ, Eg=0,21 эВ, $\hbar\omega$ < Eg) Температура пленок контролировалась в процессе облучения и не превышала T ≤ 400K. Плотность мощности излучения меньше порога рекристаллизации. Время облучения образцов 20 минут для каждой плотности мощности лазерного излучения, которая измеряется прибором ИКТ – 1М. Исследования электропроводности (σ), постоянной Холла (R_H), подвижности (μ) носителей заряда указанных образцов проводились в температурном интервале 77-400К. Измерения эффекта Холла и электропроводности осуществлялось методом Ван-дер-Пау [6]. Индукция магнитного поля в зазоре магнита измерялась прибором Ш1-8 и составила В=0,415 Тл.

Результаты эксперимента. Все выращенные плёнки имели p-тип проводимости и зеркальную поверхность. В таблицах 1 и 2 приведены исходные и подвергнутые облучению CO_2-лазером, электрофизические параметры образцов при Т=77К и ширины запрещенной зоны при Т=300К.

Таблица 1. Электрофизические параметры PbSnTe

№ образца	p $см^{-3}$	σ, 1/см Ом	μ , $см^2$/ В с	Eg , эВ	Состав, x
1	$1{,}33\cdot10^{17}$	347	$1{,}62\cdot10^{4}$	0,212	0,186
2	$2{,}91\cdot10^{17}$	518	$1{,}11\cdot10^{4}$	0,221	0,169
3	$5{,}83\cdot10^{17}$	926	$0{,}99\cdot10^{4}$	0,217	0,177
4	$1{,}36\cdot10^{18}$	2445	$0{,}97\cdot10^{4}$	0,213	0,184
5	$7{,}00\cdot10^{18}$	6830	$0{,}61\cdot10^{4}$	0,215	0,182

Таблица 2. Электрофизические параметры PbSnTe при температуре 77К, подвергнутые облучению CO_2-лазера.

№ образца	До облучения		После облучения	
	P, $см^{-3}$	μ, $см^2$ /Вс	n, $см^{-3}$	μ, $см^2$ /В с
1	$1{,}33\cdot10^{17}$	16200	$1{,}8\cdot10^{18}$	59305
2	$1{,}36\cdot10^{18}$	9700	$2{,}5\cdot10^{18}$	16170
3	$7\cdot10^{18}$	6100	$3{,}3\cdot10^{18}$	12280

Нужно отметить, что ИК облучение пленок PbSnTe, независимо от содержания Te, приводит к уменьшению концентрации свободных дырок и последующей инверсии типа проводимости. Одновременно увеличилась подвижность носителей заряда, например, в пленки №1 подвижность электронов достигла $5{,}9\cdot10^4$ $см^2$/В•с (рис.1). Преобразование электрофизических свойств имеет объемный характер, о чем свидетельствует увеличение оптического пропускания пленки №5 с 2% до 20% по мере возрастания плотности мощности лазерного излучения. Этот факт коррелирует с результатами по исследованиям эффекта Холла. Обе закономерности свидетельствуют о получении более совершенной структуре пленок.

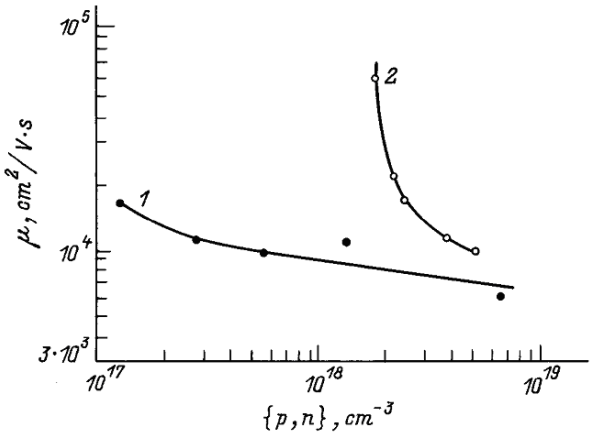


Рис.1. Зависимость подвижности μ носителей заряда от концентрации дырок до облучения (1) и электронов n после облучения (2).

На рис. 2 приведены температурные зависимости коэффициента Холла для пленки с концентрацией 7 10^{18} $см^{-3}$ после воздействия лазерного излучения различной плотности мощности. При ее возрастании концентрация дырок уменьшается (кривые *1-4),* при мощности $P_{inv}\approx$ 30 Вт/$см^2$ наблюдается инверсия типа проводимости (рис. 2, кривая .5).

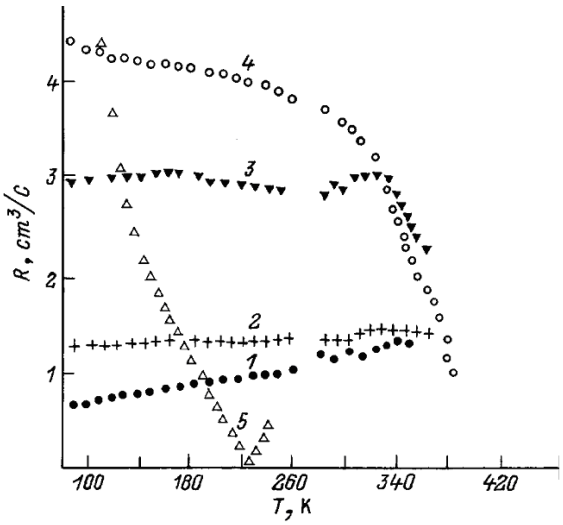


Рис.2. Температурная зависимость коэффициента Холла $Pb_{0,8}Sn_{0,2}Te$ с концентрацией дырок $p=7\cdot10^{18}см^{-3}$. 1-5 соответствуют последовательно возрастающим плотностям мощности излучения

Изменение коэффициента Холла этого образца при изменении плотности мощности излучения при температуре 300 К показано на рис. 3. При мощности излучения P < Pinv также возникают инверсные состояния, но они неустойчивы. Релаксационные процессы возвращают образец в состояние с дырочной проводимостью через 240÷260ч, Дополнительное облучение позволяет получить стабильные инверсные состояния.

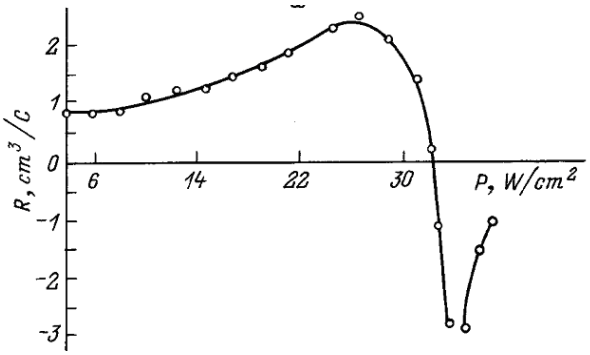


Рис.3. Зависимость коэффициента Холла эпитаксиальной пленки $Pb_{0,8}Sn_{0,2}Te$ с концентрацией дырок дырок $p=7\cdot10^{18}см^{-3}$ от плотности мощности излучения при 300К

Обсуждение результатов. Кристаллы $Pb_{1-x}Sn_xTe$ характеризуются наличием областей, обогащенных металлом и теллуром вне зависимости от содержания компонент в расплаве. По-видимому, области, обогащенные металлом и теллуром, могут существовать и в эпитаксиальных пленках, выращенных методом горячей стенки. Диффузия атомов металла из таких областей может приводить к изменению типа проводимости с дырочного на электронный, так как атомы металла, заполняя вакансии в металлической подрешетке, ликвидируют при этом по две дырки от каждой вакансии. В то же время, находясь в междоузлии, ионы металла являются однократно заряженными донорами.

Как показано в работе [5], эффект от воздействия лазерным излучением при условии $\hbar\omega < E_g$ не связан с термическим отжигом, а обусловлен многофотонным возбуждением межузельных атомов в сильном электромагнитном поле CO_2-лазера в областях искажения решетки скоплениями атомов и последующей их диффузией из таких областей. Распад микрообластей, обогащенных металлическими компонентами, приводит к изменению типа проводимости образца, при этом возрастает подвижность носителей (рис. 1). В то же время наличие зависимости инверсии типа проводимости от мощности излучения свидетельствует о том, что имеет место совместное действие теплового эффекта и многофотонного

возбуждения. При определенном значении мощности достигается температура, которая в сочетании с многофотонным возбуждением приводит к инверсии типа проводимости. В этом случае инверсионное состояние неустойчиво и сопровождается релаксационным процессом, который возвращает образец к дырочному типу проводимости. Концентрация электронов в течение нескольких суток уменьшается, затем после реинверсии типа проводимости возвращается к значению, близкому к исходному. Релаксационные процессы могут быть связаны с возвращением в подрешетку халькогена атомов Te, которые оказались в междоузлии в результате многофотонного возбуждения. При последующих облучениях часть атомов Te выходит из образца в вакуум и электронный тип проводимости становится стабильным.

Возможно, что стабильное инверсное состояние связано с образованием нейтральных бивакансий и халькогена, которые разрушаются при температурах выше комнатной.

Список литературы

1. *Шляхова А.Г., Шляхов А.Т.* Экстремум электрофизических свойств от уровня легирования в арсениде галлия. // Научно-технический вестник Поволжья. 2018. №2. С. 42-45.
2. *Шляхова А.Г., Шляхов А.Т.* Термический анализ веществ: идеи, реализации, результаты. // Научно-технический вестник Поволжья. 2018. №3. С. 33-36.
3. *Шляхова А.Г., Шляхов А.Т. Галимов Э.Р.* Калориметрическое исследование включений матричного металла в GaAs:Te. // Ученые записки Альметьевского государственного нефтяного института. 2006. т.4, С.423-432.
4. *Шляхов А.Т., Шляхова А.Г.* Термический анализ веществ: история разработок авторских изобретений. // Ученые записки Альметьевского государственного нефтяного института. 2015.т.14,С.292-311.
5. *Пляцко С.В.* Генерация объемных дефектов в некоторых полупроводниках лазерным излучением в области прозрачности кристалла. //ФТП, 2000. т. 34, № 9,с.1046-1052.
6. *Кучис Е.В.* Гальваномагнитные эффекты и методы их исследования. – М.: Радио и связь, 1990.–264с.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ (05.13.00)

05.13.18

[1]А.И. Акимов канд. техн. наук, [2]И.А. Акимов д-р техн. наук,
[2]В.А. Урбан канд. техн. наук

[1]Филиал Российского Государственного университета нефти и газа имени И.М. Губкина в г. Оренбурге. Отделение (ЭГ и ЕНД), akimovff11@mail.ru
[2]Оренбургский государственный аграрный университет, Институт управления рисками и комплексной безопасности, кафедра техносферной и информационной безопасности, Оренбуг, akimov_ia@mail.ru, urban.vladimir@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ, РАСЧЕТНЫХ ФОРМУЛ ТЕПЛООБМЕНА НА ТРЕТЬЕМ ЭТАПЕ ПРОИЗВОДСТВА МНОГОСЛОЙНЫХ КОНСТРУКЦИЙ СФЕРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ МЕТОДОМ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-5-157-160

В работе рассматривается охлаждение многослойного изделия сферической формы после завершения процесса полимеризации связующего, что соответствует третьему этапу производства. Такие изделия широко используются в авиационной промышленности, космической технике и в некоторых других отраслях народного хозяйства.

Ключевые слова: *многослойная конструкция, связующее, полимеризация, сферическая форма, авиационная промышленность, космическая техника, третий этап.*

Изучение процессов теплопроводности является одним из основных разделов современных инженерных исследований в машиностроительной, авиационной, космической и других отраслях промышленности. Как известно, что практически все процессы в той или иной степени связаны с изменением температурного состояния и переносом теплоты. Следует отметить, что инженерные исследования кинетики целого ряда физических и химико-технологических процессов аналогичны задачам стационарной и нестационарной теплопроводности.

Активное развитие теории теплообмена, то исключительное внимание, которое ей уделяется, как в физической теплотехнике и вдругих областях науки связаны с созданием и развитием аналитических методов, решения краевых задач уравнения теплопроводности и ему родственных задач.

В данной работе рассматривается процесс остывания многослойного шара с центральной симметрией от температуры полимеризации до температуры окружающей среды (цеха). Остывание начинается с внешней поверхности изделия с температуры полимеризациисвязующего до температуры окружающей среды (просто отключается электрообогрев и изделие вместе с установкой, внутри которого оно находится,остывает до температуры цеха).

При таких предположениях постановка и решение задачи теплообмена следующая: найти решение уравнения, т.к. остывание продвигается в центр симметрии,

$$\frac{\partial U_1(r,\tau)}{\partial \tau} = a_i^2\left(\frac{\partial^2 U_1(r,\tau)}{\partial r^2} + \frac{2}{r}\frac{\partial U_1(r,\tau)}{\partial r}\right), \quad \tau > 0, \qquad R_0 \le r \le R_N \tag{1}$$

$$\frac{\partial U_2(r,\tau)}{\partial \tau} = a_i^2\left(\frac{\partial^2 U_2(r,\tau)}{\partial r^2} + \frac{2}{r}\frac{\partial U_2(r,\tau)}{\partial r}\right), \quad \tau > 0, \qquad R_N \le r \le \infty \tag{2}$$

$$\text{СНУ: } U_1(r,0) = f(r) = U_1\,, \qquad U_2(r,0) = U_C \tag{3}$$

$$\text{и ГУ:}\lambda_1 \frac{\partial U_1(R_N,\tau)}{\partial r} = -\lambda_2 \frac{\partial U_2(R_N,\tau)}{\partial r}; \quad (4)$$

$$U_1(R_N,\tau) = U_2(R_N,\tau), \quad (5)$$

где R_N- радиус внешней поверхности изделия сферической формы;
R_0- радиус внутренней поверхности
$U_1(r,\tau)$-температура изделия;
a_1^2-температуропроводность изделия;
r- переменная в радиальном направлении;
τ- время;
a_1^2- тепературопроводность среды;
λ_1-теплопроводность изделия;
λ_2- теплопроводность среды
U_C-температура внешней среды (цеха).$U_C < U(r,\tau)$.

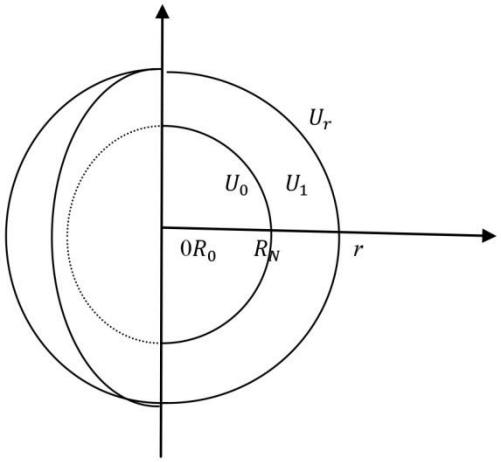


Рис.1 Полный шар с полимеризованным слоем

Решение задачи (1)-(5) ищем в виде стационарной и нестационарной составляющих:

$$U(r,\tau)=\mathrm{S}(r)+\mathrm{P}(r,\tau), \quad (6)$$

где$\mathrm{S}(r)$- решение стационарной задачи с неоднородными граничными условиями.

$$\frac{\partial^2 S(r)}{\partial r^2} + \frac{2}{r}\cdot\frac{\partial S(r)}{\partial r} = 0\ ;\ R_0 \le r \le R_N; \quad (7)$$

$$S_1(R_N,\tau)=S_2(R_N,\tau); \quad (8)$$

$$-\lambda_1 \frac{\partial S_1(R_N,\tau)}{\partial r} = -\lambda_2 \frac{\partial S_2(R_N,\tau)}{\partial r}. \quad (9)$$

Решение стацтионарной задачи имеет вид:

$$\mathrm{S}(r)=\mathrm{A}+\frac{B}{r}, \quad (10)$$

$$\text{где B}=\frac{U_{CN}-U_{1N}}{\frac{\lambda_1}{R_N}\left(\frac{1}{\lambda_1}-\frac{1}{R_N\alpha_1}\right)-\frac{\lambda_1}{R_0}\left(\frac{1}{\lambda_1}+\frac{1}{R_0\alpha_1}\right)}\ ; \quad (11)$$

$$\mathrm{A}=U_1-\frac{B}{R_0}\left(\frac{\lambda_1}{\alpha_1 R_0}+1\right). \quad (12)$$

$\mathrm{P}(r,\tau)$-решение нестационарной задачи с однородными граничными условиями:

$$\frac{\partial P(r,\tau)}{\partial \tau} = a_i^2\left(\frac{\partial^2 P(r,\tau)}{\partial r^2}+\frac{2}{r}\frac{\partial P(r,\tau)}{\partial r}\right), \tau > 0,\ \ R_0 \le r \le R_N; \quad (13)$$

$$\text{с НУ: P}(r,0) = f(r) - S(r); \quad (14)$$

$$\text{и с ГУ: } \lambda_1 \frac{\partial P(R_0,\tau)}{\partial r} - \alpha_1 P(R_0,\tau) = 0; \quad (15)$$

$$\lambda_1 \frac{\partial P(R_N,\tau)}{\partial r} + \alpha_N P(R_N,\tau) = 0. \quad (16)$$

Решение получено методом конечных интегральных преобразований. Для исключения координаты r, используется формула перехода к преображениям:

$$\bar{P}(\mu,r) = \frac{\lambda_1}{a_1^2}\int_{R_0}^{R_N} \rho\,(r)P(r,\tau)\cdot W(r,\mu)dr \quad (17)$$

где$\rho(r) = r^2$- весовая функция.являющаяся решением уравнения

$$\frac{\partial\rho(r)}{\partial(r)} - \frac{2\rho(r)}{r} = 0. \quad (18)$$

Обратный переход осуществляется по формуле:

$$\mathrm{P}(r,\tau)=\sum_{n=1}^{\infty}\frac{\overline{P}(\mu_n,\tau)\cdot W(r,\mu_n)}{Q_n}, \quad (19)$$

где$Q_n = \frac{\lambda_1}{a_1^2}\int_{R_0}^{R_N} r^2 W^2(r,\mu_n)dr, \quad (20)$

а ядро интегрального преобразования $W_1(r,\mu)$является решением вспомогательной задачи (здесь μ −параметр).

$$\frac{\partial^2 W(r,\mu)}{\partial r^2} + \frac{2}{r}\cdot\frac{\partial W_1(r,\mu)}{\partial r} + \frac{\mu^2}{a_1^2}\cdot W_1(r,\mu) = 0, \quad (21)$$

$$R_0 \le r \le R_N;$$

$$\lambda_1\frac{\partial W_1(R_0,\mu)}{\partial r} - \alpha_1 W_1(R_0,\mu) = 0; \quad (22)$$

$$\lambda_1\frac{\partial W_N(R_N,\mu)}{\partial r} + \alpha_N W_N(R_N,\mu) = 0; \quad (23)$$

$$W_1(R_N,\mu) = W_2(R_N,\mu);\quad \lambda_1\frac{\partial W_1(R_N,\mu)}{\partial r} = \lambda_2\frac{\partial W_2(R_N,\mu)}{\partial r} \quad (24)$$

Решение имеет вид

$$W_1(R_N,\mu) = \frac{\mathrm{C}_{1n}}{r}\cdot\sin\left(\frac{(\mu_n,\tau)}{a_1} + \varphi_1, n\right). \quad (25)$$

Подставляя (25) в граничные условия (22)-(24),находим числа$\mathrm{C}_{1n},\varphi_1,n,\mu_n$причем C_{1n} принимается равным 1:

$$\varphi_1, n = -\frac{\mu_n R_0}{a_1} + arctg\left(\frac{\lambda_1 R_0\mu_n}{a_1(\alpha_1 R_0+\lambda_1)}\right); \quad (26)$$

$$\varphi_2, n = -\frac{\mu_n R_1}{a_2} + arctg\left[\frac{a_2}{\lambda_2\mu_n}\left(\frac{\lambda_2-\lambda_1}{R_1} + \frac{\mu_n\lambda_1}{a_1}tg\left(\frac{\mu_n}{a_1}R_1 + \varphi_1, n\right)\right)\right] \quad (27)$$

$$\mathrm{C}_{2,n} = C_{1,n}\frac{\sin(\frac{\mu_n}{a_1}R_N+\varphi_{1,n})}{\sin(\frac{\mu_n}{a_2}R_N+\varphi_{2,n})} \quad (28)$$

μ_n-полный положительный корень уравнения

$$\frac{\mu}{\alpha_N}\cos\left(\frac{\mu R_N}{\alpha_N} + \varphi_N\right) + \left(\frac{\alpha_N}{\lambda_N} - \frac{1}{R_N}\right)\sin\left(\frac{\mu R_N}{\alpha_N} + \varphi_N\right) = 0 \quad (29)$$

Тогда $\alpha_n = \frac{\lambda_1}{a_1^2}\int_{R_0}^{R_N} r^2 W^2(r,\mu_n)dr = 0{,}5\frac{\lambda_1}{a_1^2}C_{1,n}^2\left\{R_N - R_0 - \frac{a_1}{2\mu_n}\left[\sin\left(2\left(\frac{\mu_n R_N}{a_N} + \varphi_{1,n}\right)\right) - \sin(2\left(\frac{\mu_n R_1}{a_1} + \varphi_{1,n}\right))\right]\right\}.$ (30)

Применяя преобразование (17) к задаче (13)-(16) переходим к изображениям

$$\frac{d\overline{P}(\mu_n,\tau)}{dr} + \mu_n^2\overline{P}(\mu_n,\tau) = 0 \quad (31)$$

С начальным условием$\overline{P}(\mu_n,0) = \frac{\lambda_1}{a_1^2}\int_{R_0}^{R_N} r^2\,[f(r)-S(r)]W_1(r,\mu_n)dr \quad (32)$

Решением задачи (31)-(32) является функция

$$\overline{P}(\mu_n,\tau) = \overline{P}(\mu_n,0)\cdot e^{\mu_n^2\tau} \quad (33)$$

Переходя к оригинальному, решение исходной задачи (1)-(5) получим в виде:

$$U(r,\tau) = A + \frac{B}{r} + \sum_{n=1}^{\infty}\frac{C_{1n}\sin(\frac{\mu_n r}{a_1}+\varphi_1,n)\cdot e^{\mu_n^2\tau}\cdot\frac{\lambda_1}{a_1^2}C_{1,n}\cdot\int_{R_0}^{R_N} r\left[f(r)-A-\frac{B}{r}\right]\sin\left(\frac{\mu_n r}{a_1}+\varphi_1,n\right)dr}{0{,}5\cdot\frac{\lambda_1}{a_1^2}C_{1,n}^2\cdot\left\{r-\frac{a_1}{\mu_n}\left[\sin\left(\frac{\mu_n r}{a_1}+\varphi_1,n\right)cos\left(\frac{\mu_n r}{a_1}+\varphi_1,n\right)-\sin(\varphi_1,n)cos(\varphi_1,n)\right]\right\}} \quad (34)$$

$$P(r,\tau) = \sum_{n=1}^{\infty}\frac{C_{1n}\sin(\frac{\mu_n r}{a_1}+\varphi_1,n)\cdot e^{\mu_n^2\tau}\cdot\frac{\lambda_1}{a_1^2}C_{1,n}\cdot\int_{R_0}^{R_N} r\left[f(r)-A-\frac{B}{r}\right]\sin\left(\frac{\mu_n r}{a_1}+\varphi_1,n\right)dr}{0{,}5\cdot\frac{\lambda_1}{a_1^2}C_{1,n}^2\cdot\left\{r-\frac{a_1}{\mu_n}\left[\sin\left(\frac{\mu_n r}{a_1}+\varphi_1,n\right)cos\left(\frac{\mu_n r}{a_1}+\varphi_1,n\right)-\sin(\varphi_1,n)cos(\varphi_1,n)\right]\right\}},$$

$$S(r,\tau) = U_1(r,\tau) - \frac{B}{R_0}\left(\frac{\lambda_1}{\alpha_1 R_0} + 1\right), \text{ где}$$

$$\mathrm{B} = \frac{U_{CN}-U_{1N}}{\frac{\lambda_1}{R_N}\left(\frac{1}{\lambda_1}-\frac{1}{R_N\alpha_1}\right) - \frac{\lambda_1}{R_0}\left(\frac{1}{\lambda_1}+\frac{1}{R_0\alpha_1}\right)}$$

Список литературы

1.*Е.Н. Туголуков* «Решение задач теплопроводности методом конечных интегральных преобразований». Издательство ТГТУ, Тамбов, 2005,-с.174

2.*А.И. Акимов* «Задача об охлаждении полого многослойного цилиндрического тела из композиционных материалов от температуры полимеризации до температуры среды». Научно-технический вестник Поволжья 2015г. –с (108-111).

3.*И.А. Акимов, В.А. Урбан* «Исследование и разработка математических моделей расчетных формул теплообмена на первом этапе производства многослойных конструкций сферической формы методом полимеризации». Научно-технический вестник Поволжья 2018г. - с (50-54).

05.13.00

Г.Ф. Ахмедьянова канд. пед. наук, Т.А. Пищухина канд. техн. наук,
А.М. Пищухин д-р техн. наук

Оренбургский государственный университет, аэрокосмический институт,
кафедра управления и информатики в технических системах,
Оренбург, ahmedyanova@bk.ru, fit@mail.osu.ru

МЕТАСИСТЕМНАЯ ЗАДАЧА УПРАВЛЕНИЯ ГОТОВНОСТЬЮ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ К ФУНКЦИОНИРОВАНИЮ

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-5-161-164

В работе представлена постановка и решение задачи синтеза оптимальной подготовки технических систем к реализации технологического процесса. Решение проведено с помощью метода Эйлера-Лагранжа на основе функционала Летова. Показано, что интенсивность приложения управляющих воздействий должна экспоненциально возрастать, а время на подготовку технических средств необходимо определять из условия одинаковой интенсивности для всех операций.

Ключевые слова: *метасистема, готовность технических средств, оптимальное управление, диспетчерские функции.*

Введение

Выполнение диспетчерских функций – одна из главных задач системы управления предприятием. Ее решение возложено на соответствующую систему информационного обеспечения, которой для этого необходимы соответствующие алгоритмы. Разработке алгоритмов, согласующих анализ производственной ситуации и выделение оптимальных ресурсов на поддержание необходимого уровня готовности технических средств и посвящено данное исследование.

Теория

Любой технологический процесс состоит из операций, каждая из которых осуществляется предназначенным для нее оборудованием и инструментом, функционирующим на определенных режимах. Следовательно, каждая операция осуществляется своей технологической системой, а весь технологический процесс образует метасистему. При поступлении от технологического процесса заявки на соответствующую операцию эта система должна быть в должной степени готовности, для чего необходимо решать метасистемную задачу об оценке и оптимальном управлении готовностью системы к функционированию. Оценивать готовность можно вероятностью того, что система может осуществить заданную операцию в текущий момент. Управлять же готовностью можно только опосредованно, путем создания условий для функционирования системы и устранения причин, препятствующих этому. На это необходимо выделять управляющие ресурсы. Расчет необходимого их количества выполняет соответствующая информационно-аналитическая система, автоматизирующая процесс диспетчерирования на предприятии.

Практика показывает, что оптимизация диспетчерских функций, переводящая управление из искусства в технологию [1], может значительно увеличить производительность производства [2].

Модель и методы

Пусть вероятность поступления на выполнение заданной операции имеет марковскую природу и описывается уравнением Колмогорова:

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} + a(x,t)\frac{\partial \omega}{\partial x} + \frac{b(x,t)}{2}\frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} = f(t), \quad (1)$$

где ω – плотность вероятности поступления заданной операции, зависящая от общего ее объема во всех технологических процессах предприятия x, то есть от ее востребованности; a – коэффициент сноса; b – коэффициент диффузии; f(t) – возмущающее воздействие.

Готовность технических средств, выполняющих эту операцию должна подчиняться похожему на (1) уравнению с добавлением в правой части управляющего воздействия u(x,t). При этом плотность вероятности ω_1 отражает готовность соответствующей системы технических средств к выполнению заданной операции:

$$\frac{\partial \omega_1}{\partial t} + a(x,t)\frac{\partial \omega_1}{\partial x} + \frac{b(x,t)}{2}\frac{\partial^2 \omega_1}{\partial x^2} = f(t) + u(x,t) \quad (2)$$

Принимая гипотезу, что оба этих случайных процесса находятся под влиянием одинаковых возмущений, вычитая из (1) уравнение (2) получаем:

$$\frac{\partial(\omega-\omega_1)}{\partial t} + a(x,t)\frac{\partial(\omega-\omega_1)}{\partial x} + \frac{b(x,t)}{2}\frac{\partial^2(\omega-\omega_1)}{\partial x^2} = -u(x,t) \quad (3)$$

Введем обозначение

$$s = \omega - \omega_1. \quad (4)$$

Уравнение (3) преобразуется к следующему виду

$$\frac{\partial s}{\partial t} + a\frac{\partial s}{\partial x} + \frac{b}{2}\frac{\partial^2 s}{\partial x^2} = -u(x,t). \quad (5)$$

Воспользуемся теорией аналитического конструирования оптимальных регуляторов (АКОР), предложенной профессором Летовым А.М. [3, 4], в которой функционал строится в виде суммы квадратов потерь от разности двух вероятностей и затрат на повышение готовности системы технических средств к функционированию:

$$F = \int_0^{t_f}(qs^2 + u^2)dt, \quad (6)$$

где q – размерный весовой коэффициент.

Применим для решения данной задачи метод Эйлера-Лагранжа

$$F = \int_0^{t_f}(qs^2 + u^2 + \lambda\left(\frac{\partial s}{\partial t} + a\frac{\partial s}{\partial x} + \frac{b}{2}\frac{\partial^2 s}{\partial x^2} + u\right))dt \quad (7)$$

Составляем три уравнения Эйлера:

$$\begin{cases} \frac{\partial f}{\partial s} - \frac{d}{dt}\frac{\partial f}{\partial \dot{s}} = 0 \\ \frac{\partial f}{\partial u} = 0 \\ \frac{\partial f}{\partial \lambda} = 0 \end{cases}, \quad (8)$$

где f – подынтегральное выражение функционала (7). Подстановка дает:

$$\begin{cases} 2qs - \frac{d\lambda}{dt} = 0 \\ 2u + \lambda = 0 \\ \frac{\partial s}{\partial t} + a\frac{\partial s}{\partial x} + \frac{b}{2}\frac{\partial^2 s}{\partial t^2} + u = 0 \end{cases} \quad (9)$$

Из первых двух уравнений получаем

$$s = -\frac{1}{q}\frac{du}{dt} \quad (10)$$

Производя подстановку в третье уравнение (9), получаем:

$$\frac{1}{q}\frac{d^2u}{dt^2} + \frac{a}{q}\frac{\partial^2 u}{\partial x \partial t} + \frac{b}{2q}\frac{\partial^3 u}{\partial x^2 \partial t} - u = 0 \quad (11)$$

Найдем решение этого уравнения методом разделения переменных, для чего примем управляющее воздействие в виде произведения двух функций

$$u = p(x) \cdot v(t) \quad (12)$$

Подставляя это выражение в (11) получим:

$$\frac{1}{q}p\frac{d^2v}{dt^2} + \frac{a}{q}\frac{dp}{dx}\cdot\frac{dv}{dt} + \frac{b}{2q}\frac{d^2p}{dx^2}\cdot\frac{dv}{dt} - p\cdot v = 0 \quad (13)$$

Разделив обе части (13) на $p \cdot \frac{dv}{dt}$ получаем

$$\frac{1}{q\cdot\frac{dv}{dt}}\frac{d^2v}{dt^2} + \frac{a}{q\cdot p}\frac{dp}{dx} + \frac{b}{2qp}\frac{d^2p}{dx^2} - \frac{v}{\frac{dv}{dt}} = 0 \quad (14)$$

Разделяя переменные имеем

$$\frac{1}{q\cdot\frac{dv}{dt}}\frac{d^2v}{dt^2} - \frac{v}{\frac{dv}{dt}} = -\frac{a}{q\cdot p}\frac{dp}{dx} - \frac{b}{2qp}\frac{d^2p}{dx^2} = M \quad (15)$$

Таким образом, решение уравнения (11) сводится к решению системы двух уравнений

$$\begin{cases} \frac{d^2v}{dt^2} - Mq \cdot \frac{dv}{dt} - q \cdot v = 0 \\ \frac{d^2p}{dx^2} + \frac{2a}{b}\frac{dp}{dx} - \frac{2Mq}{b} \cdot p = 0 \end{cases} \quad (16)$$

Эти уравнения имеют решения следующего вида [5]

$$\begin{cases} v = C_1 exp\frac{Mq+\sqrt{M^2q^2+4q}}{2}t + C_2 exp\frac{Mq-\sqrt{M^2q^2+4q}}{2}t \\ p = C_3 exp\frac{-\frac{2a}{b}+\sqrt{\frac{4a^2}{b^2}+\frac{8Mq}{b}}}{2}x + C_4 exp\frac{-\frac{2a}{b}-\sqrt{\frac{4a^2}{b^2}+\frac{8Mq}{b}}}{2}x \end{cases} \quad (17)$$

Для нахождения констант интегрирования используем следующие начальные и граничные условия:

$$u = 0, \text{при } t = 0;\ s = -\dot{u} = 0, \text{при } t = t_f; u = 0, \text{при } x = 0; \quad (18)$$

В данном случае начальные и граничные условия приняты из того факта, что в начале управления управляющие воздействия не подаются, а при нулевой востребованности операции управляющие воздействия вообще не нужны. Используя (17) и (10) получим систему

$$\begin{cases} 0 = C_1 + C_2 \\ 0 = C_1\frac{Mq+\sqrt{M^2q^2+4q}}{2} exp\frac{Mq+\sqrt{M^2q^2+4q}}{2}t_f + C_2\frac{Mq-\sqrt{M^2q^2+4q}}{2} exp\frac{Mq-\sqrt{M^2q^2+4q}}{2}t_f \\ 0 = C_3 + C_4 \end{cases} \quad (19)$$

Затраты на управление можно оценить виртуальной работой [6]

$$A = \int_0^{t_f} u(x,t)dxdt \quad (20)$$

Среднюю интенсивность подготовки можно выразить

$$I = \frac{A}{t_f} \quad (21)$$

Принимая ее постоянной для всех операций, несложно написать программу, которая будет решать уравнения (19)-(21), определять начало подготовительных работ по отношению к графику проведения операций в технологическом процессе, оптимально согласовывать его реализацию [7].

Результаты и обсуждение

На рисунке 1 красной линией обозначен график зависимости управляющего воздействия от времени, зеленой – зависимость управляющего воздействия от координаты x (востребованности данной операции).

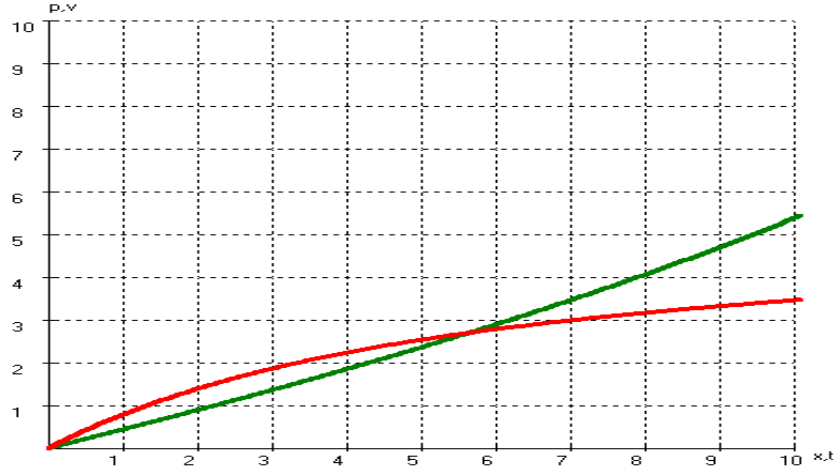


Рисунок 1 – Графики поведения составляющих управляющего воздействия

Из этих зависимостей следует, что управляющие воздействия, а стало быть и интенсивность проведения подготовительных мероприятий, возрастают по экспоненте во времени; величина управляющих воздействий тем больше, чем более востребована технологическая операция; интегрирование полученных зависимостей позволит диспетчерской информационной системе планировать начало подготовительных операций и необходимые объемы управляющих ресурсов.

Заключение

Таким образом, решение поставленной метасистемной задачи управления готовностью технических средств к функционированию позволяет диспетчерской информационно-аналитической системе составить план проведения подготовительных мероприятий для операций, входящих в выполняемый технологический процесс.

Список литературы

1. *Пищухин А.М.* Автоматизация и технологизация -два аспекта технического оснащения производства./Пищухин А.М., Ахмедьянова Г.Ф.//Вестник Оренбургского государственного университета. -2015. -№ 9 (184). -С. 170-174.
2. *Бонакер, С.* Диспетчеризация производства: нюансы автоматизации //Директор информационной службы, 2013.- № 11
3. *Летов А.М.* Аналитическое конструирование регуляторов I-IV // Автоматика и телемеханика. 1960., №4, с. 436-441; №5, с. 561-568; №6, с. 661-665; 1961, №4 с. 425-435.
4. *Александров А.Г.* Оптимальные и адаптивные системы. М.: Высш. шк., 1989.-263с.
5. *Камке, Э.* Справочник по обыкновенным дифференциальным уравнениям.-М.:Наука, 1976.-576 с.
6. *Пищухин А.М.* Оптимальные методы построения и управления мультиструктурными системами автоматизации технологических процессов и производств на основе вероятностных критериев качества.//Дис.... д-ра техн. наук. Оренбург, 2001, 355 с.
7. *Пищухин А.М.* Согласованность составляющих системы и методы ее достижения // Вестник Оренбургского государственного университета. -1999. -№ 1. -С. 87-90.

05.13.01

В.Ю. Бегенеев, И.А. Шмидт канд. техн. наук, B. Krause Phd.

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
электротехнический факультет, кафедра микропроцессорных средств автоматизации,
Hochschule Anhalt, Informatik und Sprachen,
Пермь, Köthen, KPOJIUKK1@gmail.com, shmidt-ia@yandex.ru, Bernd.Krause@hs-anhalt.de

ПОДХОД DATA MINING ДЛЯ ЗАДАЧИ КЛАССИФИКАЦИИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-5-165-168

Статья посвящена классификации сердечного ритма. Показаны собранные данные и нетипичные признаки влияющие на классификацию. В результате исследования проведен анализ шести методов классификации.

Ключевые слова: *случайный лес, QRS комплекс, электрокардиография.*

Проблема связанная с нарушением ритма сердца может быть изучена с помощью классификации полученных данных по электрокардиограмме(ЭКГ), представленной в трехмерном пространстве[1].

Целью данного исследования является разработка метода классификации сердечного ритма с помощью изучения основных признаков ЭКГ, которые были описаны в литературе 2.

Научная новизна данного исследования состоит в апробации метода случайного леса для задачи классификации сердечного ритма в трехмерном пространстве, который не использовался прежде для решения подобного рода задач.

Данные представлены таблицей с набором признаков, таких как время начала и конца QRS комплекса..., влияющих на показатель сердечного ритма и разделены на семь неравных участков. Один из участков представляет собой обучающую выборку, на основании которой будет проводится обучение моделей для классификации сердечного бита. На остальных шести участках будет проводится тестирование.

1 Методы классификации

Наиболее популярные методы для классификации сердечного ритма это: метод опорных векторов, нейронная сеть, логистическая регрессия[3].

Логистическая регрессия(Logistic regression) хорошо справляется с отсутствием баланса в данных между двумя классами [3].

Метод ближайшего соседа (kNN) практически не используется, из-за высоких вычислительных затрат на этапе тестирования[3].

Нейронная сеть (NN) используется по причине адекватной классификации в присутствии шумов. Авторы перед процессом обучения и применения нейронной сети используют метод главных компонент (*PCA*) или другие методы для уменьшения размерности входных признаков[3].

Существует много статей, в которых рассматривается задача классификации аритмии с помощью метода опорных векторов (SVM)[3,4]. Классификация так же происходит с этапом уменьшения размерности[4]. Метод плохо справляется с отсутствием баланса между классами [3].

Дерево решений(Decision tree) неэффективен для исследования непрерывных признаков и векторов признаков больших размеров[3].

2 Метод случайного леса

Метод используется для избегания лишних вычислений, относящихся к уменьшению размерности (выбора признаков). Метод устойчив к неравному количеству данных по классам. Есть возможность оценить влияние каждого признака на классификацию с помощью индекса Джини. Метод уже применялся для изучения ЭКГ в двухмерном пространстве[5,6].

Для оценки качества классификации используются: аккуратность, показатель Kappa, баланс аккуратности, чувствительность, специфичность, ROC кривая и показатель AuC[7,8].

3 Результаты исследований

Выборка получена с помощью пакета Lund-toolbox в Matlab и включает в себя признаки сердечного ритма в трехмерном пространстве[2]. Всего 55362 отметок с значениями и 23 признаками.

В исходных данных есть нарушения (таблица 1). В бите 4294 присутствует значение t_offset равное 86, вместо типичных 24...

Таблица 1- Данные по QRS комплексу

Schlag	Sinus	t-onset	t-offset	t-onset_m	t-offset_m	A_vec	A_vec_m	A_vecdot	A_vecdot_m	A_vel	A_vel_m	A_veldot	A_veldot_m	A_b	A_b_m	A_bdot	A_bdot_m	A_tors	A_tors_m
395	1	-98	26	-96	22	72578	71720	2416	2398	1362	1297	215	208	136	132	43	41	57	54
396	1	-140	34	-80	34	80894	74381	2620	2235	1460	1337	260	212	157	134	51	42	72	57
397	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4294	0	-106	86	-90	68	169021	163234	3855	3687	1634	1563	284	251	173	157	56	50	76	67

Из таблицы 1: Schlag - идентификация единичного бита; Sinus - классификация бита; t_onset и t_offset - время начала и конца QRS комплекса; A_vec, A_vel, A_b, A_tors - значения амплитуд vector, velocity, acceleration, circle(approach to this curse).

Целевой переменной является значение Sinus. Бит с нетипичными признаками должен классифицироваться с признаком равным 0, иначе 1.

Сперва были удалены параметры, полученные искусственно, которые никак не влияют на сердечный ритм. Далее с помощью уменьшения размерности были выявлены и отброшены несколько признаков в выборке.

После обучения были произведены исследования на шести тестовых выборках. Визуально представлены усредненные значения основных параметров(рис. 1, рис. 2).

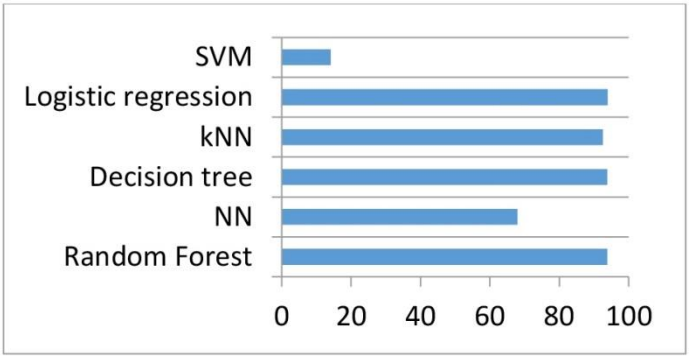


Рис. 1- Среднее значение аккуратности по каждому методу

Как видно из рис. 1 методами с наиболее оптимальными значениями средней аккуратности являются все, кроме нейронной сети и метода опорных векторов. Среднее значение аккуратности метода случайного леса в работе [5] составляет 92,3%. В данном исследовании 93,8%.

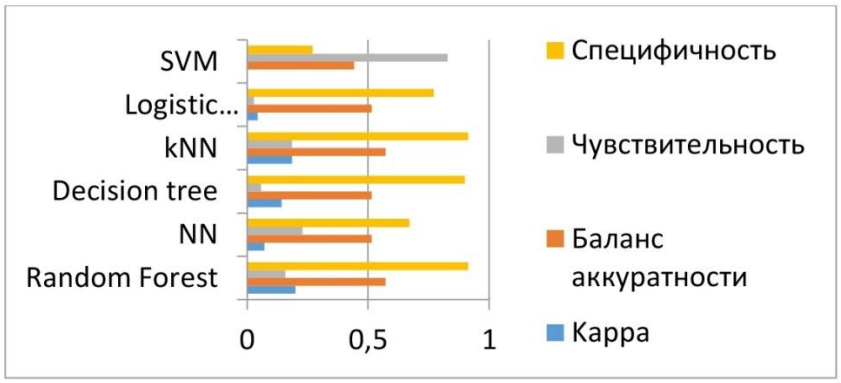


Рис. 2- Средние значения показателей Kappa, баланс аккуратности, чувствительность, специфичность.

Из рис. 2 методами с наиболее оптимальными значениями баланса аккуратности и показателем Kappa являются случайный лес, метод ближайшего соседа, дерево решений. Что касается специфичности и чувствительности, то метод опорных векторов будет с большой вероятностью классифицировать дефекты в работе сердца, а остальные методы наоборот.

Последним показателем качества классификации является ROC кривая с областью под этой кривой AuC(рис. 3).

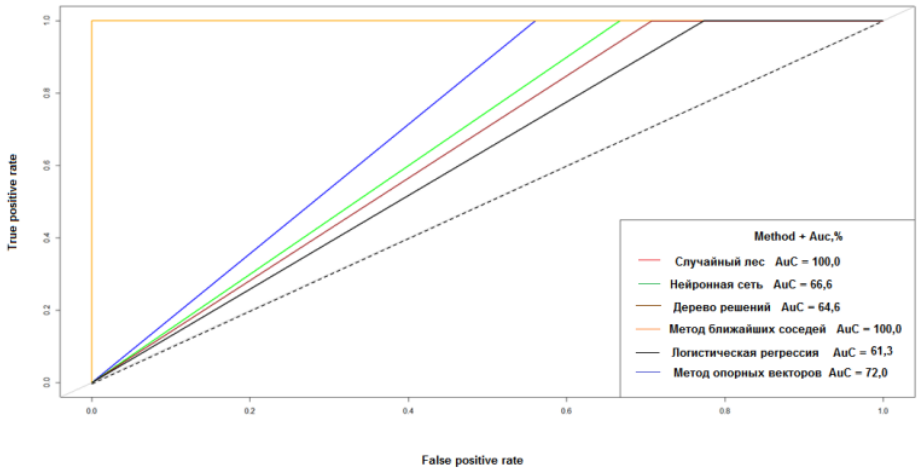


Рис. 3-Кривые ROC для каждой модели

Исходя из рис. 3 можно сделать вывод, что модели: случайный лес и метод ближайших соседей - отличные; метод опорных векторов - хорошее; нейронная сеть, дерево решений, логистическая регрессия - среднее[8].

4 Заключение

Как показала практика применение данного метода имеет место быть, поскольку показатели оценки классификации оказываются не хуже, а для некоторых выборок даже лучше. Так же уменьшено количество операций за счет выбора наиболее влиятельных признаков.

В рамках исследования проведен анализ лишь двух классов: нормальный синусовый бит и сердечный ритм с отклонениями. Дальнейшее направление подразумевает дробление нетипичных признаков еще на несколько классов.

Список литературы

1. Векторкардиография [Электронный ресурс].- Режим доступа: http:// бмэ.орг/index.php/ВЕКТОРКАРДИОГРАФИЯ(дата обращения 20.04.2018)
2. *Leif Sörnmo, Pablo Laguna.* Biolectrical signal processing in cardiac and neurological applications // ELSEVIER Inc. - 2005. P.424-436
3. *Hui Yang, Satish TS Bukkapatham, Ranga Komanduri.* Spatiotemporal representation of cardiac vectorcardiogram(VCG) signals. [Электронный ресурс] - URL:https://biomedical-engineering online.biomedcentral.com/articles/ 10.1186/1475-925X-11-16 (дата обращения 19.04.2018)
4. *Gabriel Garcia, Gladston Moreira, David Menotti & Eduardo Luz*. Inter-Patient ECG Heartbeat Classification with Temporal VCG Optimized by PSO. [Электронный ресурс]- URL: https://www.nature.com/articles/ s41598-017-09837 3.pdf?error=cookies_not_supported&code= c1623b78-ecc2-4757-936d-5eba575579b2 (дата обращения 18.04.2018)
5. *Hye-Jin Kim, Byeong-Nam Kim, Won-Seuk Jang and Sun K. Yoo.* Random Forest based abnormal ECG dichotomization using linear and nonlinear feature extraction. [Электронный ресурс]- URL: http://www.ndsl.kr/soc_img/ society/kosombe/OOSCB@/2016/v37n2/OOSCB@_ 2016_v37n2_61.pdf (дата обращения 20.04.2018)
6. 6. *Taiyong Li, Min Zhou.* ECG classification using wavelet packet entropy and random forest. [Электронный ресурс]- URL: http://www.mdpi.com/ 1099-4300/18/8/285/htm(дата обращения 20.04.2018)
7. *Мухамедиев Р.И., Мухамедиева Е.Л., Кучин Я.И.* Таксономия методов машинного обучения и оценка качества классификации и обучаемости. [Электронный ресурс]- URL:https://cyberleninka.ru/article/v /taksonomiya metodov-mashinnogo-obucheniya-i-otsenka-kachestva-klassifikatsii-i obuchaemosti(дата обращения 21.04.2018)
8. *Ларионов А.А., Подлесных В.Г.* Разработка и реализация методов оценки правдоподобия бинарной классификации. [Электронный ресурс]- URL:https://www.hse.ru/edu/vkr/84491465 (дата обращения 20.04.2018)

05.13.06

М.В. Беленко, П.В. Балакшин канд. техн. наук

Университет ИТМО,
факультет программной инженерии и компьютерной техники,
кафедра вычислительной техники,
Санкт-Петербург, mikael0bmv@gmail.com

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПОРТИРОВАНИЯ ПРИЛОЖЕНИЙ МЕЖДУ СИСТЕМАМИ РАСПОЗНАВАНИЯ РЕЧИ

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-5-169-171

В рамках работы было проведено исследование возможности портирования между системами распознавания речи, а также его автоматизации. Для этого было осуществлено ручное портирование макета приложения, использующего систему HTK, на систему CMU Sphinx. Также исследована возможность автоматизации данного процесса. В результате автоматизированное портирование реализовано с помощью системы Coccinelle.

Ключевые слова: *распознавание речи, CMU Sphinx, HTK, портирование, API, Coccinelle.*

Ранее в рамках исследования [1] был проведен сравнительный анализ описанных выше систем, и выработаны рекомендации по применению каждой из них. Система HTK была рекомендована для использования в образовательной деятельности, и, так как HTK является довольно старой системой, она применяется во множестве проектов [2]. Однако в последнее время HTK замедлило темп своего развития, из-за чего в ней не присутствуют некоторые передовые технологии в области распознавания речи, что негативно сказывается на целесообразности использования HTK как для научно-исследовательской, так и для образовательной деятельности.

Для решения этой проблемы было проведено исследование возможности портирования существующих систем, использующих HTK, на одну из альтернативных систем [3-6]. В качестве целевой системы была выбрана система CMU Sphinx. В процессе данного исследования было проведено исследование структур программных интерфейсов (API) целевой и исходной систем и сопоставлены модули ATK [7] и pocketsphinx [6], которые выполняют одинаковые функции, для последующей замены. Результаты этого сопоставления приведены в следующей таблице.

Таблица 1. Соответствия модулей

	ATK	pocketsphinx
Работа с ресурсами	ARMan	Acmod, Dict
Преобразование сигнала	ASource, ACode	PS
Распознавание	ARec	PS

Таким образом, основываясь на вышеперечисленных соответствиях можно провести ручное портирование приложения. Однако в зависимости от размера портируемого приложения процесс ручного портирования может занимать значительное время. В связи с этим было решено исследовать возможности автоматизации данного процесса.

Портирование системы распознавания речи можно разделить на два этапа: портирование ресурсов и портирование исходного кода. В рассматриваемых системах портирование языковой модели не требуется, так как они обе поддерживают модели в формате ARPA. Форматы акустических моделей для исследуемых систем различаются, однако существует конвертер, который можно использовать для автоматизации. Таким образом, проблема портирования ресурсов решена и остается только проблема портирования исходного кода приложения.

Рассмотрим основные подходы к решению данной проблемы. Поскольку исходный код представляет собой текст, наивным решением является построчный проход и изменение текста, согласно ранее разработанным правилам. Очевидно, что данный метод на практике не работоспособен в силу высокой трудоемкости и низкой устойчивости к изменению исходного кода портируемого приложения.

Данный недостаток описанного выше метода можно свести на нет, работая с исходным кодом так, как это делает компилятор. Такой подход используется в нескольких разновидностях систем. Рассмотрим наиболее широко распространенные системы каждой из этих разновидностей, а также оценим их применимость к решаемой проблеме.

Транскомпиляторы (*англ.* source-to-source compilers). Системы такого вида работают аналогично классическим, трансформируя абстрактное синтаксическое дерево согласно заранее определенным правилам [8]. Однако практически все транскомпиляторы могут осуществлять портирование только между разными языками. Данная ситуация общая для всех систем этого типа, так как их основное предназначение – изменение языка исходного кода. Эту проблему можно решить, используя системы, предоставляющие возможность создания транскомпиляторов, компиляторы компиляторов (*англ.* compiler-compiler).

Компилятор компиляторов, как следует из названия, позволяет создавать компиляторы. На вход система такого типа принимает формально описанную грамматику, на выходе получается исходный код компилятора. Существует широкое множество подобных программ, однако для решения поставленной задачи было отобрано три реализации: Yacc + Lex, DMS Software reengineering toolkit и ROSE Compiler Framework. Критериями выбора были распространенность, возможность работы с языками программирования C/C++ и доступность.

Однако трудоемкость описания транскомпилятора с использованием перечисленных систем делает их использование нецелесообразным. Следовательно, транскомпиляторы в чистом виде не подходят для быстрого портирования систем и, в частности, для портирования HTK на CMU Sphinx.

Альтернативой транскомпиляторам, в данном случае, являются системы трансформации программ (*англ.* program transformation systems) [9]. Такие системы работают на более высоком уровне абстракции, чем транскомпиляторы, и, зачастую, могут содержать их в себе. Аналогично транскомпиляторам, на вход такой системе подается исходный код, и на выходе получается трансформированный исходный код. К основным представителям систем данного класса стоит отнести ASF+SDF Meta environment, CIL, Coccinelle, Fermat, Stratego/XT и TXL. Все эти системы поддерживают работу с языками C/C++ и предоставляют возможность изменения исходного кода некоторого приложения согласно формально описанным правилам.

Хотя все вышеперечисленные системы имеют схожий функционал и возможности, среди них следует выделить систему Coccinelle. Во-первых, Coccinelle предоставляет синтаксис описания правил трансформации в декларативном стиле, что, как было замечено ранее, упрощает как разработку, так и поддержку данных правил. Во-вторых, исходный код данной системы открыт, и её использование для портирования систем с также открытым исходным кодом приемлемо. И, наконец, эта система является самой новой из всех перечисленных, что положительно сказывается на её производительности и поддержке сообществом [10].

Теперь, когда определена система, с помощью которой портирование будет автоматизировано, нужно определить набор правил, необходимых и достаточных для перевода программы с программного интерфейса ATK на программный интерфейс pocketsphinx. В терминах Coccinelle данные правила называются семантическими патчами. Пример семантического патча представлен на рисунке 1.

Далее требуется формализовать ранее описанные правила и оформить их в виде семантических патчей Coccinelle. Для этого необходимо пройти все функции, предоставляемые ATK, и в соответствии с синтаксисом Coccinelle записать их преобразования в функции, предоставляемые pocketsphinx.

```
@@
expression lock, flags;
expression urb;
@@

 spin_lock_irqsave(lock, flags);
 <...
- usb_submit_urb(urb)
+ usb_submit_urb(urb, GFP_ATOMIC)
 ...>
 spin_unlock_irqrestore(lock, flags);

@@
expression urb;
@@

- usb_submit_urb(urb)
+ usb_submit_urb(urb, GFP_KERNEL)
```

Рис. 1. – Семантический патч

Для подтверждения корректности портирования было проведено тестирование на базе записей дикторов. В качестве речевой базы выступили 102 заказа пиццы, произнесённые шестью дикторами обоих полов. Как для тестирования ручного портирования, так и для тестирования автоматизированного портирования измерялись метрики точности и скорости распознавания Speed Factor и Word Recognition Rate. Результаты тестирования представлены в таблице.

Таблица 2. Результаты тестирования

	WRR	SF
До портирования (ATK)	85.6%	1.3
После ручного портирования (pocketsphinx)	84.9%	0.4
После автоматизированного портирования (pocketsphinx)	84.5%	0.5

Как видно из таблицы, результаты практически не отличаются от ручного портирования. Однако, при разработанных правилах, процесс автоматизированного портирования занимает значительно меньшее время и не требует трудовых затрат, что делает использование автоматизированного портирования целесообразным.

Список литературы

1. *М.В. Беленко, П.В. Балакшин.* СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СИСТЕМ РАСПОЗНАВАНИЯ РЕЧИ С ОТКРЫТЫМ КОДОМ // Международный научно-исследовательский журнал. – 2017. – № 04 (58). Часть 4. – С. 13-18.
2. *Балакшин П.В*. Алгоритмические и программные средства распознавания речи на основе скрытых марковских моделей для телефонных служб поддержки клиентов: дис. … кандидата технических наук. – Университет ИТМО, СПб. – 2014. – 127 с.
3. Kaldi. – Режим доступа: http://kaldi-asr.org/doc/.
4. *D. Rybach* et al. The RWTH aachen university open source speech recognition system // Interspeech. – 2009. – С. 2111-2114.
5. [*M. Luján-Mares* et al. iATROS: A speech and handwritting recognition system // V Jornadas en Tecnologıas del Habla (VJTH'2008). – 2008. – С. 75-78.
6. CMU Sphinx Wiki // CMU Sphinx. – Режим доступа: http://cmusphinx.sourceforge.net/wiki/
7. *Young S.* ATK: an application toolkit for HTK // Cambridge University Engineering Department. – 2007.
8. *Ахо А., Сети Р., Ульман Д.Д*. Компиляторы. Принципы, технологии, инструменты. (Книга Дракона). – 2003.
9. *H. Partsch, R. Steinbrüggen.* Program transformation systems // ACM Computing Surveys (CSUR). – 1983. – Т. 15. – №. 3. – С. 199-236.
10. *L.R. Rodriguez, J. Lawall.* Increasing automation in the backporting of Linux drivers using Coccinelle // Dependable Computing Conference (EDCC), 2015 Eleventh European. – IEEE, 2015. – С. 132-143.

05.13.06

С.В. Бочкарев д-р техн. наук, Р.Р. Хисамов

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
электротехнический факультет, кафедра микропроцессорных средств автоматизации,
Пермь, bochkarev@msa.pstu.ru

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УСТРОЙСТВ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ ТЕРМИНАЛОВ В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-5-172-175

В статье рассмотрены требования к современным системам защит и автоматики. Проанализировано применение микропроцессорных терминалов в области автоматизированных системах управления технологических процессов. Предложены возможные направления совершенствования релейной защиты и автоматики.

Ключевые слова: *Релейная защита и автоматика, автоматизированные системы управления, надежность, интеграция.*

Деятельность электросетевого комплекса немыслима без надежной и качественной работы распределительных электрических сетей 6–10/0,4 кВ с учетом непосредственного взаимодействия с конкретным потребителем [1]. Результатами работы сетей «Пермэнерго» является решение задач обеспечения качества, надежности и эффективности работы электросетевого комплекса края в целом [2].

Нормативы рентабильности и надежности релейной защиты и автоматики связаны, в частности, со старением [3] и в большой степени зависят от вида и функций, реализации защищаемого энергообъекта [4,5]. Поэтому осуществление системы релейной защиты и автоматики (РЗА), оптимальное для одного энергообъекта, кажется совершенно неэффективным для другого энергообъекта такого же вида (линии, трансформатора, сборных шин и т.д.). Для отдельного объекта в процессе проектирования должны учитываться оптимальный разряд и алгоритм кооперации элементов РЗА [6] и сформированы модели мониторинга работоспособности устройств РЗА [7].

В основу концепции базирования устройств релейной защиты (РЗ) положены четыре ключевых требования: селективность, быстродействие, чувствительность и надежность [8-10]. Устройства РЗ не обязаны нарушать эти требования. Современные технологии позволяют развивать алгоритмы действия с улучшением вышеперечисленных требований [11]. Анализ этих требований и развития техники РЗ, можно реализовать с учетом допустимых направлений совершенствования:

а) для селективности:

- более исправное моделирование защищаемой электроустановки;
- формирование общих связей между устройствами РЗ;
- приемка более полной информации о защищаемой электроустановки от вспомогательных датчиков, в том числе неэлектрических (температура, давление, светового излучения, и т.п.);
- расширение количество датчиков вдоль всего объекта и передачи информации от отдельных из них в устройствах РЗ;

б) для быстродействия:

- улучшение точности отсчета временных параметров благодоря использования электронных реле времени, в том числе, и с синхронизацией от одного задающего тактового генератора;
- эксплуатация быстродействующих аппаратных устройств (микроконтроллеров, микропроцессоров), распознавание самозапуска и короткого замыкания (КЗ) на начальных стадиях;
- применение адаптивных алгоритмов по времени;

в) для чувствительности:

- применение адаптивных алгоритнов по параметрам срабатывания;
- применение точных измерительных преобразователей тока и напряжения (в том числе адаптивных и интеллектуальных);

г) для надежности:

- применение однокристальных специальных микроконтроллеров;
- улучшение точности измерительной части РЗ (аппаратной и алгоритмической), применение функциональной и тестовой диагностики;
- улучшение квалификации обслуживающего персонала;
- улучшение точности расчета токов КЗ и установок РЗ [14].

Для оценки выполнения деятельности устройств релейной защиты процент правильных действий защит определяется по формуле [18]:

$$K = \frac{n_{\text{ПС}}}{n_{\text{ПС}}+n_{\text{ИС}}+n_{\text{ЛС}}+n_{\text{ОС}}} \times 100\%,$$

где $n_{\text{ПС}}$, $n_{\text{ИС}}$, $n_{\text{ЛС}}$ – число правильных, излишних и ложных срабатываний; $n_{\text{ОС}}$ – число отказов срабатывания.

Вычисляемый коэффициент рекомендуется использовать как показатель качества РЗА при расчете не только для оценки пригодности эксплуатации, но и для оценки надежности.

Эффективность РЗА – снижение отрицательных последствий от неисправностей и ущербных режимов в электроэнергетической системе. Ключевым звеном эффективности РЗА (табл.) является механизированный уровень устройств и систем РЗА, включающий в себя уровни методик аппаратного и программного обеспечения, функционал и возможности интеграции в АСУ ТП [14, 15].

Обмен данными между элементами *программно-технического комплекса* (ПТК) осуществляется по протоколу MMS в стандарте МЭК 61850. Применение устройств, не имеющих поддержки стандарта, должно быть сведено к минимуму.

Главным утверждением стандарта МЭК 61850 является функциональное сочетание (interoperability) устройств разных производителей. Анализ отечественных экспертов на предмет функциональной сочетаемости устройств разных производителей дали непредвиденный результат – два разных устройства не осуществяют обоюдной функциональной совместимости даже при наличии у них сертификатов на соответствие стандарту МЭК 61850.

В промышленную разработку внедряют все большое количество систем АСУ ТП с помощью стандарта МЭК 61850, а возникающие проблемы ликвидируют в рабочем порядке. Выделим, что в настоящий момент речь идет именно о промышленном использовании устройств РЗА, которые включены в работу на бесчисленных объектах энергетики и используют при этом инструмент GOOSE-сообщений. Наличие этого инструмента позволяет значительно снизить затраты на кабельное хозяйство и монтажные работы, удвоить надежность передачи сигналов в части ЭМС, повысить крупномаштабность системы РЗА в целом.

Таблица - Показатели, определяющие эффективность РЗА

Технический уровень	Техническое совершенство	Быстродействие
		Селективность
		Чувствительность
	Надежность	Срабатывания
		Несрабатывания
	Уровень технологии	Аппаратные средства
		Программные средства
	Выполняемая деятельность	
	Осуществляемость интеграции в АСУ ТП	
Условия функционирования	Экология энергобъктов и окружающей среды	
	Гарантирование надежности и безопасности	
	Организация работ к объектам	
	Начичие документов на энергообъекте: акты отвода земельных участков, оперативный журнал, схемы первичных и вторичных электрических соединений	
	Наличие мнемосхем на энергообъектах	
	На энергообъектах должны проводиться постоянные работы с персоналом к его готовности выполнять профессиональные функции и поддержание их квалификации	

Интеграция программно-технического комплекса микропроцессорных устройств РЗА, поддерживающих протокол обмена данных МЭК 61850 [18] выполнена с использованием оптических кабелей, коммутаторы Internet объединены в резервированное «кольцо» по технологии «Turbo Ring». Устройства РЗА, имеющие протоколы МЭК 60870-5-101, МЭК 60870-5-103, Modbus, интегрированы посредством сервера COM-портов. Передача оперативной телеметрической информации на верхний уровень осуществляется по двум взаиморезервируемым каналам (МЭК 60870-5-104). В ПТК устанавливают собственное время с точностью до 1 мс от двух «MBS» конроллера АСУ ТП с GPS/ГЛОНАСС-приемниками (основного и резервного).

Таким образом, использование МПУ релейной защиты является наиболее надежной по сравнению с аналоговыми устройствами с точки зрения удобства в экплуатации. Это достоинство достигается за счет использований новых технологий, существенно сократив элементную базу, проводимых соединений, промежуточных реле и контактов.

Список литературы

1. Положение ОАО «Россети» о единой технической политике в электросетевом комплексе. М. : ОАО «Россети», 2013. 196 с.

2. Положение о технической политике в распределительном электросетевом комплексе «Перэнерго». 2015 г.

3. *Кузьмичев В.А., Коновалова Е.В., Захаренков А.Ю.* О старении устройств РЗА, дефекты и неисправности, вызванные процессом их старения// Релейная защита и автоматизация.–2015. №4.– с.60-63.

4. *Колобродов Е.Н.* Релейная защита и автоматика воздушных линий электропередачи с устройствами продольной компенсации// Энергетик. – 2013, №6.– с. 46-49.

5. *Гуревич В. И.* Актуальные проблемы релейной защиты: альтернативный взгляд //Вести в электроэнергетике. – 2010, №3. –С. 30-43.

6. *Колосков Т.А.* Определение параметров устройств РЗ сетей электросбжения для повышения надежности их работы.// Известия Тульского Государственного университета. Технические науки. 2011 – 4 с.

7. *Зуев Д.К.* Анализ эксплуатационной статистики релейной защиты и автоматики подстанций магистральных электрических сетей//Энергетик.–2013, №2.– С.22-25

8. *Федосеев А.М., Федосеев М.А.,* Релейная защита электроэнергетических систем: учеб. для вузов.–2-е изд. перер. и доп. – М.: Энергоавтоиздат, 1992.–528с.
9. Гуревич В.И. Надежность микропроцессорных устройств релейной защиты: мифы и реальность// Известия высших учебных заведений. проблемы энергетики.–2008, №5-6.– с.47-62
10. *Шевелева А.В.* Электромеханическое реле или микропроцессорные устройства релейной защиты - плюсы и минусы// Сб. науч. статей 2-й Междунар. молод. науч.-практ. конф. в 3-х томах. – 2015 Курск: ЗАО «Университетская книга». – С. 172-173.
11. *Александров Е.Г., Шапеев А.А.* Область применения электромеханических устройств РЗА в современной энергетике РФ // Релейная защита и автоматизация.– 2015, №1(18).– с.42-47.
12. Положение №1 ОАО «Россети» о концепции развития релейной защиты и автоматики электросетевого комплекса, утв. Советом директоров ОАО «Россети» (пр. № 356 от 22.06.2015).
13. *Свистунов Н.А.* Принципы построения систем релейной защиты и автоматики на основе микропроцессорных устройств//Известия Тульского государственного университета. Технические науки.–2016, №12.–С.92-95.
14. *Никитин К.И., Сидоров О.А., Вырва А.А., Сарычев М.М.* Возможные направления совершенсвования релейной защиты и автоматики. // Омский научный вестник. 2009.
15. *Перцова Н.* Современные направления развития систем РЗА// Электроэнергия. передача и распределение.– 2013, №4.– С.98-100.
16. *Аношин А.О., Головин А.В., Максимов Б.К.* Исследование функциональной совместимости устройств РЗА по условиям стандарта МЭК 61850 // Релейщик, 2009, № 4. 6с.
17. IEC 61850 Communication networks and systems in substations
18. РД 34.35.516-89 Инструкция по учету и оценке работы релейной защиты и автоматики электрической части энергосистем.

05.13.11

В.С. Быков, П.В. Балакшин канд. техн. наук

Университет ИТМО,
факультет программной инженерии и компьютерной техники,
кафедра вычислительной техники,
Санкт-Петербург, vladimirbykov08@gmail.com

ИССЛЕДОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ ТЕЛЕФОННЫХ СЛУЖБ ПОДДЕРЖКИ КЛИЕНТОВ

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-5-176-178

В рамках статьи ставится задача провести исследование возможности оптимизации работы телефонной службы поддержки клиентов вместе с автоматизацией системы контроля качества. Для реализации выбраны системы с открытым исходным кодом Asterisk и CMU Sphinx. Результатом работы является реализованная система контроля качества операторов, позволяющая проводить анализ записанных разговоров и сравнивать статистику по ним с эталонными значениями. Система позволяет оптимизировать работу телефонной службы поддержки за счёт уменьшения влияния человеческого фактора на оценку работы оператора и уменьшения трудозатрат на анализ статистики и прослушивания разговоров клиентов.

Ключевые слова: *телефонная служба поддержки клиентов, распознавание речи, Asterisk, CMD, CMU Sphinx.*

Телефонные службы поддержки клиентов являются важным аспектом успешной деятельности среднего и крупного бизнеса, поскольку качественное и своевременное обслуживание и поддержка имеют важное значение при взаимодействии с клиентом. Использование современных технологий в области распознавания речи и анализ статистики входящих вызовов способны улучшить качество предоставляемых услуг.

Целью исследования является разработка системы контроля качества работы операторов телефонной службы поддержки клиентов. Разработанная система позволит оптимизировать работу телефонной службы поддержки за счёт уменьшения влияния человеческого фактора на оценку работы оператора, уменьшения трудозатрат на анализ статистики и прослушивание разговоров клиентов. Это приведёт к улучшению контроля качества работы операторов.

Оптимизация – это улучшение характеристик системы [1], которые лучше удовлетворяют требованиям заданных критериев. Были определены следующие критерии оптимизации: время ожидания ответа, доля клиентов, решивших свою проблему с первого раза, – FCR (*англ*. First Call Resolution), процент потерянных звонков LSR (*англ*. Lost Call Rate), соответствие установленным инструкциям (жаргонные слова, слова паразиты, акции), оценка удовлетворенности клиента. Для улучшения показателей работы было принято решение оптимизировать данную систему при помощи анализа статистики и добавления модуля распознавания речи.

В результате исследования были определены следующие критерии сравнения существующих решений по организации мини-АТС: открытый исходных код, поддержка операционной системы Linux, реализации IP-телефонии, поддержка SIP протокола, работа с базами данных, удобство конфигурации, возможность записи разговоров и статистики, подключение расширений, подробная документация.

Для исследования были выбраны три системы: Asterisk, FreeSWITCH и SipXecs. Asterisk показал ряд преимуществ относительно других систем: удобство конфигурации, подробная документация, большое сообщество, широкая функциональность графического интерфейса. По результатам сравнительного анализа для дальнейшей работы была выбрана Asterisk [2].

Критериями сравнения систем распознавания речи являются: поддержка языков, API, распознавание слитной речи, документация, поддержка операционной системы Linux. Ключевой метрикой сравнения систем распознавания речи является WER (*англ*. Word Error Rate – процент неправильно распознанных слов). Для использования были выбраны системы Kaldi, HTK и CMU Sphinx, так как они соответствуют следующим критериям: слитная речь, документация, поддерживаемая операционная система Linux [3].

Однако при этом Kaldi обладает лучшим показателем WER, но не предоставляет API, также по умолчанию поддерживает только английскую речь. HTK обладает подробной документацией, высоким уровнем WER, API используется для написания прикладных программ, в основном используется для исследования распознавания речи [4]. В свою очередь CMU Sphinx обладает рядом необходимых требований: высокий показатель WER, возможность интеграции системы в сторонние программы, благодаря предоставленному API, подробная документация для начинающих разработчиков, поддержка большого числа языков по умолчанию, в том числе и русский язык [5]. По результатам сравнительного анализа для дальнейшей работы и взаимодействия с Asterisk была выбрана система распознавания речи CMU Sphinx.

Для совершения тестового звонка была проведена настройка Asterisk. Для добавления пользователей был отредактирован файл /etc/asterisk/sip.conf. Для осуществления звонков между пользователями была настроена схема маршрутизации и обработки телефонных звонков (*англ*. dialplan) в файле /etc/asterisk/extensions.conf. Результат тестового звонка представлен на рисунке 1.

```
+----+--------------------+-----+------+----------+---------+------------------
--+---------------------+---------------------+---------------------------------
----------+-------------+------------+----------+
| id | clid               | src | dst  | duration | billsec | start
  | answer              | end                 | filename
         | disposition | date       | holdtime |
+----+--------------------+-----+------+----------+---------+------------------
--+---------------------+---------------------+---------------------------------
----------+-------------+------------+----------+
|  1 | "Number 100" <100> | 100 | 101  |      184 |     171 | 2018-04-01 14:40:2
6 | 2018-04-01 14:40:39 | 2018-04-01 14:43:30 | 1522593626.0-2018-04-01-14_40-10
0-101.wav | ANSWERED    | 2018-04-01 |        3 |
```

Рис. 1 – Сохранённая статистика по звонку

Для корректной работы системы распознавания речи CMU Sphinx необходимо создать языковую модель и словарь данных. Для этого были проанализированы 100 аудиозаписей разговоров между оператором и клиентом телефонной службы поддержки. Проанализированные данные были занесены в базу знаний. При помощи полученных данных были созданы языковая модель и фонетический словарь данных.

Для тестирования обученной системы распознавания речи были записаны 100 аудиозаписей при помощи клиента Zoiper [6]. Дикторами были женщина и мужчина, общение происходило на русском языке. По результатам тестирования метрика WER составила 6,38 ± 0, 36.

Метод постобработки разговоров при помощи CMU Sphinx заключается в следующем: благодаря модулю CDR (*англ*. Call Detail Record) после каждого разговора сохраняется статистика по звонку, дата и имя аудиозаписи разговора. После сравниваются заданные ранее значения из файла требований с распознанным текстом аудиозаписи. В результате формируется отчёт.

Метод анализа статистики заключается в следующем: сотрудник отдела качества должен заполнить файл требований. Благодаря модулю CDR можно получить статистику по каждой аудиозаписи и сравнить с заданными требованиями. Если требование удовлетворяет условию, то в xls-отчёт пишется «+», если нет, то – «-».

Благодаря описанным ранее методам и сформированным отчётам улучшается контроль качества работы телефонной службы поддержки.

Процесс поиска некачественной работы оператора и составление отчёта согласно полученным результатам происходит автоматически. Ручным процессом остается формирование требований к качеству, анализ созданных отчётов, принятие решений по дальнейшим действиям.

Автоматизация описанных ранее методов написана на языке Python. Результат постобработки разговоров при помощи CMU Sphinx сводится в отчёт, пример которого представлен на рисунке 2, а результат анализа статистики в отчёт, пример которого представлен на рисунке 3. Аналитик отдела качества после просмотра отчёта может сделать выводы по качеству предоставляемых услуг.

```
[root@localhost recognize_reports]# cat 2018-04-01
Фраза-оценитеработукурьераотодногодопяти. Число совпадений-1. Файл-1522593626.0-2018-04-01-14_40-100-101.wav.
Фраза-оценитеработукурьераотодногодопяти. Число совпадений-0. Файл-1522595354.0-2018-04-01-15_09-100-101.wav.
Фраза-оценитеработукурьераотодногодопяти. Число совпадений-0. Файл-1522605461.0-2018-04-01-17_57-100-101.wav.
Фраза-доброе. Число совпадений-1. Файл-1522593626.0-2018-04-01-14_40-100-101.wav
Фраза-доброе. Число совпадений-0. Файл-1522595354.0-2018-04-01-15_09-100-101.wav.
Фраза-доброе. Число совпадений-0. Файл-1522605461.0-2018-04-01-17_57-100-101.wav.
```

Рис. 2 – Отчёт распознанных фраз

filename	operator	time_to_ansv	LCR	billsec	handling_tim	hold_time
1522593626.	101	-	+	+	+	+
1522595354.	101	+	-	+	+	+
1522605461.	101	+	+	+	+	+

Рис. 3 – Отчёт анализа статистики

Результаты тестирования на рассмотренных ранее 100 аудиозаписях представлены в таблице и демонстрируют оптимизацию работы телефонной службы клиентов.

Таблица. Результат тестирования системы

Критерий	Экспериментальная оценка
Время ожидания ответа оператора	Сократилось в 2 раза и составляет 15 секунд
FCR	Улучшилась на 17 процентов и составляет 87
LCR	Значение уменьшилось на 9 процентов и составляет 21
Соответствие установленным инструкциям	Значение повысилось на 14 процентов и составляет 94
Жаргонные слова/слова паразиты	Значение уменьшилось на 4 процента и составляет 2
Средняя оценка удовлетворенности клиентов	Повысилась на 1 балл и составляет 4 балла

Список литературы

1. *Заморин А.П.* Толковый словарь по вычислительной технике и программированию. Основные термины: около 3000 терминов / Заморин А.П., Марков А.С. – М.: Рус. яз., 1988. – 221 с., ил.
2. Asterisk Wiki // Asterisk. – Режим доступа: https://wiki.asterisk.org/wiki/.
3. *В.С. Быков.* Применение систем распознавания речи // Сборник трудов V Всероссийского конгресса молодых ученых. – 2016. – Т. 1. – С. 73-78.
4. *Балакшин П.В*. Алгоритмические и программные средства распознавания речи на основе скрытых марковских моделей для телефонных служб поддержки клиентов: дис. … кандидата технических наук. – Университет ИТМО, СПб. – 2014. – 127 с.
5. CMU Sphinx Wiki // CMU Sphinx. – Режим доступа: http://cmusphinx.sourceforge.net/wiki/.
6. Zoiper. – Режим доступа: https://www.zoiper.com/.

05.13.01

Т.В. Гаибова канд. техн. наук

Оренбургский государственный университет, аэрокосмический институт,
кафедра управления и информатики в технических системах,
Оренбург, gaibovasau@mail.ru

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ОПТИМАЛЬНОЙ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ФАЗЫ ИНВЕСТИЦИОННОГО ПРОЕКТА

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-5-179-182

В статье описана методика определения продолжительности проектов развития промышленных предприятий на основе производственных, рыночных и инвестиционных факторов. В качестве основного инструмента используется нечеткий алгоритм Мамдани. Приведено описание лингвистических переменных, правило выбора горизонта планирования и результаты экспериментальной апробации методики для конкретного инвестиционного проекта с использованием модуля Fuzzy Logic Toolbox пакета MatLab и программного средства Project Expert.

Ключевые слова: *эксплуатационная фаза, горизонт планирования, производственный потенциал, рыночный потенциал, нечеткая логика, требования инвестора.*

Продолжительность эксплуатационной фазы, определяемая на этапе планирования проектов развития промышленных предприятий, оказывает значительное влияние на коммерческую эффективность проекта. Чем дальше горизонт планирования - тем больше будет планируемая совокупная величина дохода, следовательно, выше вероятность положительного решения о целесообразности реализации проекта.

В соответствии с [1,2], оценка предстоящих затрат и результатов при определении эффективности инвестиционного проекта осуществляется в пределах отчетного периода, продолжительность которого - горизонт расчёта - принимается с учетом продолжительности создания, эксплуатации и ликвидации объекта; среднего нормативного срока службы оборудования; достижения заданных характеристик прибыли; требований инвестора.

Таким образом, горизонт планирования представляет собой комплексную величину, на которую влияет целый набор факторов. Поэтому обоснованный выбор продолжительности проекта является достаточно сложной задачей. Несмотря на то, что в ряде научных работ [3,4] данная проблема нашла отражение, комплексного количественного инструментария для ее решения на сегодняшний день не предлагается. На практике же определение горизонта расчета проекта определяется субъективно, что зачастую приводит к идеализации планируемых результатов реализации проекта, снижает адекватность прогнозирования и результативность предпроектной стадии. В настоящей статье описаны основные положения разработанной методики количественного определения оптимальной продолжительности эксплуатационной фазы проекта. Ее новизна основана на:

1) систематизации параметров, требующих учета при определении продолжительности проекта на этапе планирования;

2) возможности количественного учета при определении горизонта планирования проекта потенциала физического использования основных производственных фондов, рыночной востребованности продукта проекта и доступности инвестиционных ресурсов для реализации проекта.

Концепция разработанной методики

Основная идея методики определения оптимальной продолжительности инвестиционного проекта представлена в виде схемы на рисунке 1. Потенциал проекта, определяющий продолжительность его реализации, формируется на основе трех составляющих:

производственной; рыночной; инвестиционной. Производственная составляющая $T_{ОПФ}$ характеризует срок эффективной эксплуатации производственного оборудования с допустимым уровнем риска отказа. Эта величина напрямую зависит от результатов оценки нынешнего состояния оборудования и производственного потенциала оборудования с учетом требований рассматриваемого проекта [5].

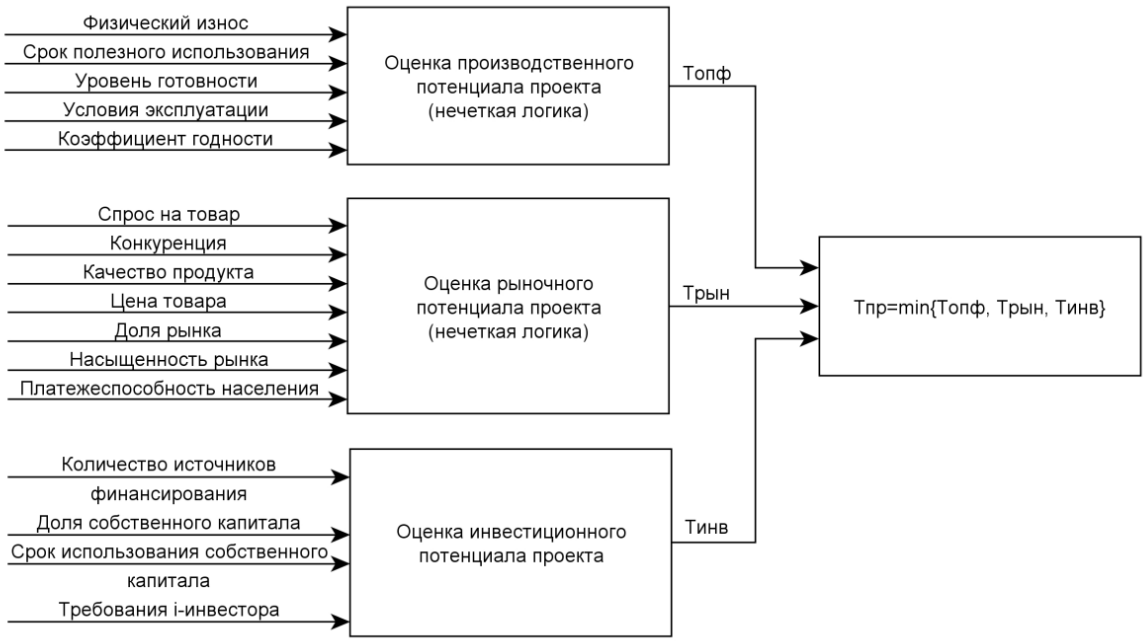


Рис.1 – Концепция методики определения продолжительности проекта

Для количественного определения $T_{ОПФ}$ предлагается использование аппарата нечеткой логики. Фрагмент описания лингвистических переменных для оценки $T_{ОПФ}$ представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Описание лингвистических переменных задачи оценки производственной составляющей продолжительности проекта (фрагмент)

Наименование лингвистической переменной	Лингвистическая область определения	Числовая область определения
Физический износ	Критический Сильный Средний Незначительный Практически отсутствует	40-50 баллов 30-40 баллов 20-30 баллов 10-20 баллов 0-10 баллов
Срок использования оборудования вне рамок проекта (усредненный по видам основного технологического оборудования)	Длительный Средний Незначительный Малый	80-100% от паспортного 60-80% от паспортного 30-60% от паспортного 0-30% от паспортного
Срок эффективной эксплуатации оборудования в рамках проекта	Продолжительный Средний Малый	75-100% 40-75% 0-40%

Рыночная составляющая $T_{рын}$ определяет потенциал рыночной ниши продукта, предлагаемого проектом и формируется с учетом жизненного цикла товара. Эта величина характеризует возможную продолжительность проекта с точки зрения восприятия рынком его продукции.

Так как данный показатель также, как и $T_{ОПФ}$, имеет комплексную природу и расплывчатый характер измерения факторов, влияющих на его величину, для количественного определения $T_{рын}$ также предлагается использовать нечеткую логику. Фрагмент описания лингвистических переменных для оценки $T_{рын}$ представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Описание лингвистических переменных задачи оценки рыночной составляющей продолжительности проекта (фрагмент)

Наименование лингвистической переменной	Лингвистическая область определения	Числовая область определения
Спрос на товар (комплексная оценка)	Высокий Средний Низкий	20-30 баллов 10-20 баллов 0-10 баллов
Конкуренция (комплексная оценка)	Высокая Средняя Низкая	20-30 баллов 10-20 баллов 0-10 баллов
Доля рынка	Обширная Значительная Незначительная Малая	75-100% 50-75% 25-50% 0-25%
Продолжительность рыночной востребованности товара	Высокая Средняя Низкая	75-100% 40-75% 0-40%

Инвестиционная составляющая $T_{инв}$, влияющая на продолжительность проекта, в рамках настоящего исследования рассматривалась как четкая переменная, определяемая условиями финансирования проекта.

Из предложенных трёх оценочных составляющих - $T_{ОПФ,}$ $T_{рын,}$ $T_{инв}$ - по следующему правилу будет в итоге формироваться оптимальная продолжительность эксплуатационной фазы проекта – $T_{пр}$:

$$\mathrm{T_{пр}} = min\{T_{\mathrm{ОПФ}}, T_{\mathrm{рын}}, T_{\mathrm{инв}}\}.$$

Экспериментальная апробация разработанной методики

Экспериментальная апробация разработанной методики была проведена для инвестиционного проекта реконструкции фабрики беловых товаров, разработанного для экономических условий Оренбургской области. Разработка базового варианта проекта и проведение многовариантных расчетов для различных значений горизонта планирования выполнено с использованием программного средства Project Expert. Оценка производственной и рыночной составляющих продолжительности проекта на основе алгоритма Мамдани выполнена в модуле Fuzzy Logic Toolbox математического пакета MATLAB. Результаты оценки рыночной составляющей рассматриваемого проекта с использованием MATLAB представлены на рисунке 2, результаты сравнения вариантов проекта с разными горизонтами планирования по индексу прибыльности PI – в таблице 3.

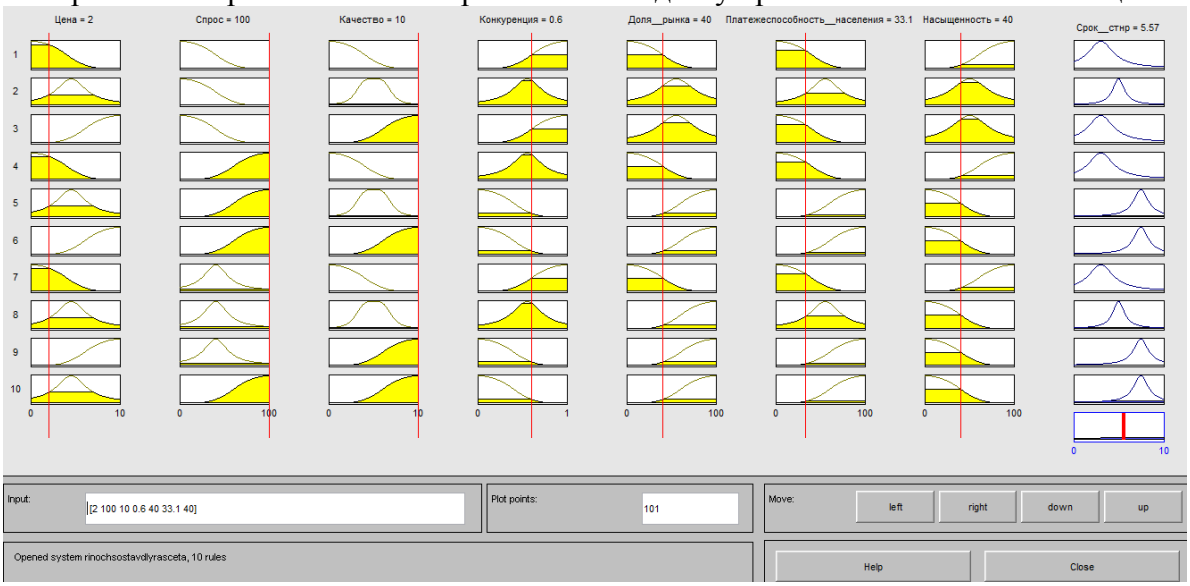


Рис. 2 – Результат оценки рыночной составляющей горизонта планирования в MATLAB

При проведении расчетов по методикам [1,2] существует риск отбора для финансирования проектов с недостаточным уровнем эффективности именно по причине необоснованно удлиненного горизонта планирования, например, рассматриваемый проект должен быть принят, так как при горизонте планирования 8 и 12 лет индекс прибыльности проекта больше единицы. При количественном обосновании продолжительности проекта по разработанной автором методике учитывается информация об эффективном существовании товара, предлагаемого проектом, на рынке – 5,6 лет. При таком горизонте планирования значение показателя PI считается недостаточным для признания проекта коммерчески эффективным (0,92<1).

Таблица 3 – Оценка эффективности предлагаемой методики

Показатель коммерческой эффективности варианта проекта	Горизонт планирования, рассчитанный по предложенной методике - 5,6 лет $T_{пр}$ =min{18; 5,6; 7,9}=5,6	Горизонт планирования, определенный по методике из [1] – 8 лет	Горизонт планирования, определенный по методике из [2] - 12 лет
PI (при PI>1 проект принимается)	0,92	1,14	1,46
Изменение PI, %	-19,3	базовый уровень	+28

Учитывая вероятностную природу результатов, получаемых с помощью нечеткой логики, разработанную методику следует рассматривать как дополнительный инструмент, позволяющий повысить достоверность расчетов при проведении прединвестиционных исследований проектов.

Список литературы

1 Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов». – Утв. 21.06.1999 г. Минэкономики РФ, Минфином РФ и Госстроем РФ. - № ВК 477.

2 Методика расчета показателей и применения критерия эффективности инвестиционных проектов, претендующих на получение государственной поддержки за счет средств Инвестиционного фонда РФ». – Утв. совм. приказом МЭРТ и Министерства финансов РФ от 23.05.2006 г. № 139/82н. – зарег. в Минюсте РФ 21.06.2006 г. № 7959.

3 *Смоляк С.А.* Об оптимальном выборе моментов начала и прекращения проекта / Аудит и финансовый анализ. – М.: Издательский дом «Компьютерный аудит». - №1. - 2002. – С.168-175.

4 *Сбитнев А.Е.* Концептуальные проблемы определения общественной эффективности инвестиционных проектов в дорожном строительстве / Проблемы современной экономики. – СПб.: ООО «Научно-производственная компания «РОСТ». - №2(38). - 2011. – с.280-283.

5 *Гаибова Т.В., Шумилина Н.А.* Оценка проектного риска отказа оборудования на основе теории нечетких множеств / Интеллект. Инновации. Инвестиции. - 2013. - № 2. - с.10-16.

05.13.12

В.В. Гаряева канд. техн. наук

ФГБОУ ВО "Национальный исследовательский
Московский государственный строительный университет",
кафедра Информационных систем, технологий и автоматизации в строительстве,
Москва, garyaeva@bk.ru

АВТОМАТИЗАЦИЯ МОНИТОРИНГА СТРОИТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ УДАЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-5-183-185

В статье представлены результаты анализа актуальности и эффективности применения автоматизированной технологии на базе систем видеонаблюдения и 4d моделирования, для мониторинга строительной деятельности удаленных строительных объектов.

Ключевые слова: *информационное моделирование, системы видеонаблюдения, 4D, BIM, мониторинг строительной деятельности.*

В современных условиях одной из актуальных задач организации строительной деятельности является создание автоматизированных систем мониторинга строительства [1]. В первую очередь это касается удаленных объектов, ввиду больших расстояний, в десятки и даже сотни километров, между наблюдателями и контролируемыми объектами, что безусловно является помехой для осуществления контроля сроков и качества выполнения заявленных видов строительных работ и мониторинга строительства в целом [2].

Цель данной статьи предложить решение проблемы удаленного мониторинга строительной деятельности на базе современных подходов и привлечение внимания к методам и средствам решения вышеуказанных проблем, которые, несмотря на уже не раз доказанные результативность и эффективность, на территории Российской Федерации по разным причинам применяются далеко не в полной мере.

В работе акцентируется внимание на актуальности и необходимости применения 4D BIM-технологий и систем видеонаблюдения, предлагается решение совместного использования этих технологий с привязкой к календарному плану выполнения строительных работ.

Применение систем видеонаблюдения позволяет решить ряд задач, в числе которых контроль исполнения технологических процессов (ведение земляных работ, возведение монолитных железобетонных конструкций, оштукатуривание поверхностей, облицовка штучными и листовыми материалами) и работы оборудования (исправность кранов, бетономешалки, циркулярных пил, транспортных и подъемных механизмов), наблюдение за перемещениями сотрудников (длительность ухода на перерыв, переход с одного объекта на другой, выполнение наряда и др.), контроль безопасности производства (возможность предотвращения несчастных случаев при несоблюдении техники безопасности, предотвращение возгораний) и сохранности склада рабочих материалов (предупреждение хищений), слежение за перевозками строительных материалов (ввоз/вывоз с объекта).

Применение BIM-технологий, в частности, программы 4D моделирования Synchro 4D, позволяет соотносить процесс реального строительства с виртуальной моделью, предварительно разработанной в соответствии с требованиями всех участников проекта, с привязкой к календарному плану [3,4]. Грубо говоря, появляется возможность сравнения на одном экране двух картинок (хотя, если говорить о реальных объектах, то большего количества изображений), отражающих реальное и плановое состояние работ на определенный момент времени, что, в свою очередь, позволяет вовремя выявить возникающие проблемы и добиться их разрешения с максимальной экономической эффективностью.

Кроме этого, необходимо отметить возможность получения поминутного архива видеоматериалов. С одной стороны, это видеозапись в реальном времени процесса строительства, с другой - презентационный ролик виртуального строительного объекта, привязанный к календарному графику, наглядно демонстрирующий главную цель проекта и результат всех затрачиваемых усилий. И то, и другое является залогом успеха для привлечения внимания заказчиков и инвесторов.

В качестве объекта тестирования предлагаемой технологии был выбран проект бизнес-центра, представляющий собой комплекс зданий: 26-и этажный основной корпус и две 32-х этажные башни, соединенные общей платформой. Отметка низа покрытия верхнего этажа основного корпуса - 104 м, башен – 128 м, платформы – 24 м. Все несущие конструкции здания – монолитные, железобетонные. Место, отведенное под возведение бизнес-центра, свободно от застройки.

Трехмерная модель строительного объекта, экспортированная в систему Synchro 4D, с последующей привязкой к календарному графику представлена на рис. 1.

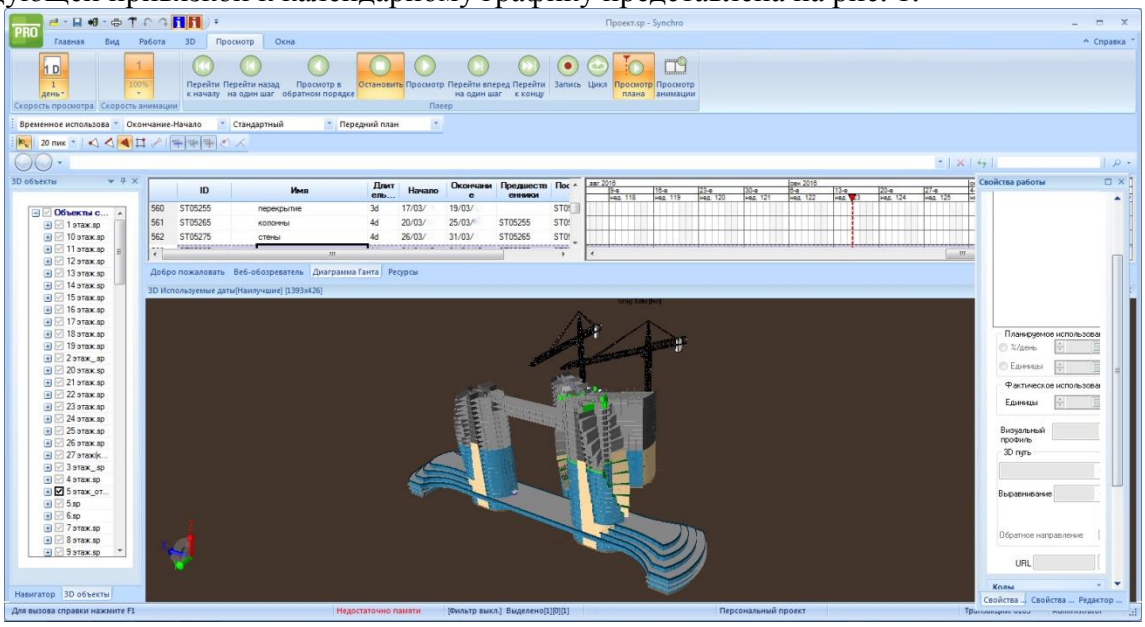


Рис 1. 3D-модель бизнес-центра в Synchro 4D

Для мониторинга проектируемого строительного объекта была выбрана система из 12 IP-видеокамер, 8 из которых установлены на столбах по периметру строительного объекта, остальные 4 – на подъемниках рРис. 2.

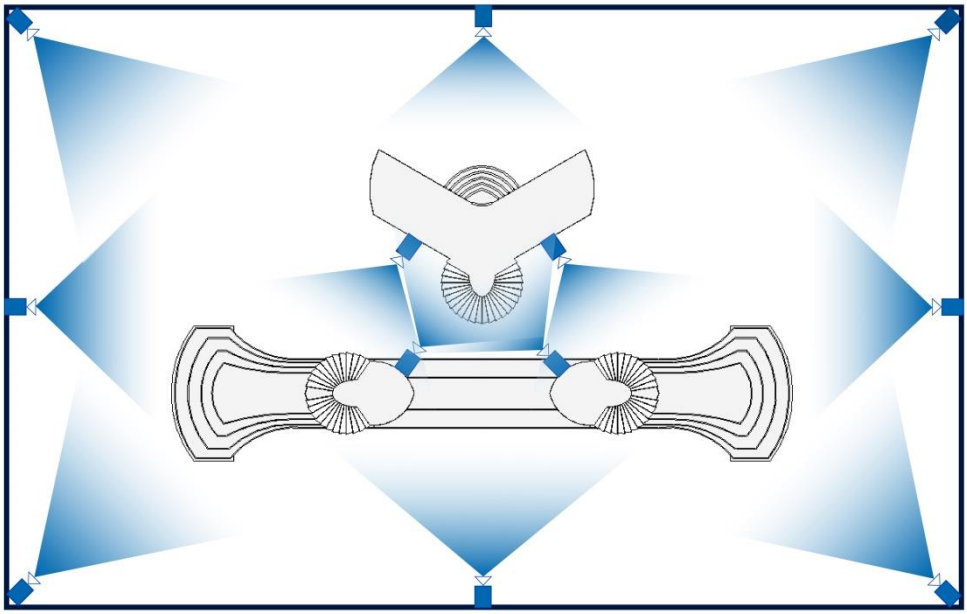


Рис. 2. Схема размещения видеокамер на строительном объекте

Выбранная схема минимизирует число «мертвых зон» контролируемой территории.

Разработанная система контроля и мониторинга строительной деятельности, представляющая собой сочетание информационного моделирования и системы видеонаблюдения, дает возможность максимально оптимизировать процесс строительства путем своевременного обнаружения несоответствий между реальным состоянием выполнения строительных работ и соответствующим календарно-сетевому графику плановым состоянием [3].

Спроектированная система видеонаблюдения позволяет обеспечить безопасность на строительной площадке и защиту от негативных внутренних и внешних событий, а в случае возникновения нештатных ситуаций предоставит возможность вмешаться в процесс или просмотреть архивы для анализа произошедшей ситуации.

Если говорить об окупаемости предлагаемой системы удаленного мониторинга строительной деятельности, то это вопрос довольно сложный, ввиду ее зависимости от множества факторов. Однако возможность круглосуточного видеонаблюдения и видеозаписи процесса строительства и в том числе контроль сроков и видов выполняемых работ, а также поставок материалов на объект экономически оправдывают внедрение этой автоматизированной технологии в строительную деятельность. В полной мере экономическая эффективность может быть оценена непосредственно на строительном объекте, после разработки информационной модели планируемого объекта и разработки проекта автоматизации мониторинга строительной деятельности удаленных объектов.

В рамках проведенного исследования была разработана автоматизированная система контроля и мониторинга строительной деятельности на базе систем видеонаблюдения и ПО Synchro 4D.

Были решены следующие задачи:

− доказана актуальность и эффективность применения технологий информационного моделирования и систем видеонаблюдения;

− выбраны в качестве инструментальной среды, отвечающей задачам проекта, программы Autodesk Revit, MS Project, Synchro;

− разработаны рабочие чертежи и трехмерная модель бизнес-центра в Autodesk Revit;

− сформирован календарно-сетевой график строительства здания в MS Project;

− разработана информационная модель спроектированного бизнес-центра в Synchro 4D;

− решено использовать беспроводной метод передачи видеоизображений с указанием обоснований данного выбора;

− подобран возможный комплект устройств для осуществления видеонаблюдения за спроектированным зданием;

− рассчитана сметная стоимость и оценена экономическая эффективность проекта;

− разработана автоматизированная система контроля и мониторинга строительной деятельности на базе систем видеонаблюдения и ПО Synchro 4D.

Список литературы

1. Системы автоматизации проектирования в строительстве: учебное пособие под ред. А.В.Гинзбурга / -М.: МГСУ, 2014. - 664 с.

2. *Гаряев Н.А., Гаряева В.В., Рыбина А.В.* Разработка имитационной модели анализа проектных решений удаленных строительных объектов с точки зрения обеспечения строительными материалами и конструкциями. Научное обозрение. 2015. № 13. С. 395-398.

3. *Гаряев Н.А., Гагарин П.В.* Современное вычислительное моделирование как этап развития процесса проектирования Вестник МГСУ. 2009. № S1. с. 186-187.

4. *Гаряева В.В.* Разработка методики создания имитационной модели обеспечения удаленных объектов материалами и конструкциями. Научное обозрение. Москва: Издательский дом «Наука образования», 2015. С239-251.

05.13.12

В.В. Гаряева канд. техн. наук

ФГБОУ ВО "Национальный исследовательский
Московский государственный строительный университет",
кафедра Информационных систем, технологий и автоматизации в строительстве,
Москва, garyaeva@bk.ru

АВТОМАТИЗАЦИЯ СИНХРОНИЗАЦИИ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ ДАННЫХ BIM-МОДЕЛИ ЗДАНИЯ НА БАЗЕ RFID ТЕХНОЛОГИИ

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-5-186-188

В статье представлены результаты анализа актуальности и эффективности применения автоматизированных технологий радиочастотной идентификации (RFID), как инструмента синхронизации информации в режиме реального времени строительной деятельности на объектах с данными BIM-модели этих объектов.

Ключевые слова: *BIM, облачные вычисления, технология RFID, управление строительством.*

Целью проведенного исследования являлся анализ возможности использования RFID-инструментов и облачных систем для наполнения BIM-модели актуальной информацией о строящемся объекте. Предлагаемая технология представляет собой интегрированную систему мониторинга строительства, использующую технологию RFID для обновления информации об элементах в BIM-модели с последующим обновлением информации в облачной системе.

Building Information Modeling (BIM) - один из инструментов, который все чаще используется при реализации современных строительных проектов. Узким местом при создании BIM-моделей является оперативное наполнение их актуальной информацией обо всех изменениях, происходящих в частности при непосредственном возведении и последующей эксплуатации объекта.

Благодаря развитию информационных технологий появляются возможности, позволяющие не только улучшить, но и существенно увеличить наполняемость BIM-модели реальными данными о объекте строительства в процессе его возведения, а также намного упростить сбор этой информации [1,2].

Одним из интересных инструментов, которые пользователи BIM могут использовать для обновления своей виртуальной модели является система радиочастотной идентификации (RFID).

Radio Frequency Identification - RFID-технология беспроводного обмена данными посредством радиосигнала между электронной меткой, которая помещается на строительное изделие конструкцию или деталь, и специальным радиоэлектронным устройством, считывающим сигнал метки. Считанные данные, преобразованные в стандартный формат IFC и переданные через Интернет будут доступны приложениям BIM.

Обновление данных в режиме реального времени при использовании технологии RFID существенно улучшает эффективность автоматизированного управления проектами и последующего обслуживания построенных объектов на протяжении всего срока службы.

Использование облачных технологий открывает широкие возможности высокоскоростного обмена данными, что в свою очередь будет способствовать совершенствованию процессу управления строительной площадкой (строительством, возведением объекта) в реальном времени [3].

Интернет и разработки в области компьютерных и мобильных технологий не только изменили образ жизни современного общества, но также трансформировали методы ведения бизнеса. Типовые операции транзакции выполняются новыми устройствами, включая ПК, смартфоны и планшеты. Несмотря на сравнительно недавнее внедрение компьютеров и Интернета в бизнес-сферу, сегодня невозможно представить себе успешное ведение бизнеса без использования этих устройств [4].

С момента зарождения облачных технологий и до сегодняшнего дня они меняют устоявшиеся информационные процессы за счет быстрого роста вычислительных мощностей компьютеров и развития интернет-технологий передачи обработки и хранения информации. Применение широкополосных интернет-каналов позволяет объединять различные информационные технологии, используя так называемые облачные вычисления [2,3].

Востребованность облачных вычислений обусловлена тремя причинами: масштабируемость, простота использования и доступная цена.

Использование реальных возможностей облачных вычислений создает из множества автономных файлов и документов интегрированную сетевую совместную модель BIM. Интегрированной модели требуется активный BIM-сервер, который позволяет в режиме реального времени сотрудничать участниками проекта, и обеспечивает доступ в реальном времени к живой модели BIM любых заинтересованных сторон с помощью программных приложений, работающих на различных, в том числе мобильных устройствах. Вышеупомянутый, активный сервер BIM требует многопользовательского программного обеспечения, чтобы иметь возможность масштабирования и полностью использовать «облачные» возможности как хранилища данных, так и вычислительной мощности.

Система RFID (Radio Frequency Identification) - это современная технология идентификации объектов, основанная на применении радиочастотного электромагнитного излучения для автоматизированного считывания и записывания данных учета и контроля на устройство.

Основная цель этой системы заключается в сборе информации из RFID меток (транспондеров) в режиме реального времени, использование радиоволновой технологии позволяет обрабатывать данные даже если транспондеры не находятся в пределах прямой видимости. Считыватели могут получать информацию и находить RFID метки, которые расположены в диапазоне обнаружения их антенн на расстоянии от 5 м до 300 м.

В предлагаемой методике синхронизации в реальном времени данных BIM-модели здания на базе RFID технологий при реализации процесса выделено четыре этапа:

1. Первый этап - разработка проекта. На этом этапе создается трехмерная BIM- модель объекта строительства [4].
2. Второй этап – принятие решений о RFID-метках и считывателях. Необходимо определить:

Для меток:

• к каким элементам будут прикреплены метки RFID (Колонны, балки, дверные и оконные рамы и т.д.)

• какие неструктурные элементы здания будут помечены.

• когда будут помечаться выбранные элементы.

Для считывателей:

• расположение считывателя на въезде на строительную площадку.

• расписание и считывание RFID меток портативными считывателями.

3. Третий этап - программное и аппаратное обеспечение процесса передачи данных. На этом этапе должна быть реализована связь RFID считывателей с моделью BIM через интеллектуальные программные приложения, с последующим экспортом в облачное хранилище, обеспечивающее многопользовательский доступ.
4. Четвертый этап – строительство. Основная цель разработки – это возможность оперативного обновления информации, позволяющей на новом уровне осуществлять контроль, управление и планирование ресурсами строительного объекта.

5. Пятый этап – стадия эксплуатации. После окончания строительства все метки RFID, которые были прикреплены к элементам здания останутся и будут доступны для чтения любым типом считывателя, поэтому информация о компонентах будет доступна. Здание будет действовать как группа умных объектов, которые связаны с 3D BIM -моделью.

Заключение

Представленная, основанная на RFID-метках система синхронизации представляет собой хороший инструмент, который обеспечивает четкую видимость и мониторинг компетентности для каждого участника проекта строительства, и он достаточно гибкий, чтобы распространять свою помощь по всей цепочке поставок цепочки идеально.

Эта структура также является переносимой основой, что означает, что владельцы структуры могут легко использовать ее RFID-оборудование и компоненты в своих будущих проектах или даже использовать их в разных проектах одновременно. Вышесказанное позволяет использовать RFID-оборудование как основу быстрого обновления данных в информационной BIM-модели строительных объектов, и в будущем стать стандартным для строительных фирм.

Использование созданной таким образом интегрированной BIM-модели исключительно выгодно при проектировании строительных объектов, а также управлении объектами в процессе их эксплуатации, реставрации и даже утилизации. Данная технология повысит синхронизацию состояния BIM-модели в реальном времени и ускорит поиск данных в BIM во время строительства. Кроме того, она будет способствовать созданию подробного паспорт объекта, содержащего информацию о всех его компонентах, для последующей эксплуатации и обслуживания. Все изменения вносятся незамедлительно, благодаря использованию облачных технологий, открывающим доступ к информации всем заинтересованным сторонам через Интернет.

Таким образом, благодаря внедрению RFID-технологий появляются возможности, позволяющие не только существенно увеличить наполняемость BIM- модели реальными данными о объекте строительства в процессе его возведения, но и намного упростить сбор этой информации. Это в свою очередь скажется на управлении планированием и управлением ресурсами на строительной площадке, что невероятно важно для повышения эффективности проекта за счет сокращения временных и финансовых затрат.

Список литературы

1. *Гаряев Н.А., Гаряева В.В., Рыбина А.В.* Разработка имитационной модели анализа проектных решений удаленных строительных объектов с точки зрения обеспечения строительными материалами и конструкциями. Научное обозрение. 2015. № 13. С. 395-398.

2. *Гаряева В.В.* Разработка методики создания имитационной модели обеспечения удаленных объектов материалами и конструкциями. Научное обозрение. Москва: Издательский дом «Наука образования», 2015. С239-251.

3. *Гаряев Н.А., Гагарин П.В.* Современное вычислительное моделирование как этап развития процесса проектирования Вестник МГСУ. 2009. № S1. с. 186-187.

4. Системы автоматизации проектирования в строительстве: учебное пособие под ред. А.В.Гинзбурга / -М.: МГСУ, 2014. - 664 с.

05.13.00

А.В. Гинзбург[1] д-р техн. наук, О.Н. Кузина[2] канд. техн. наук,
А.И. Рыжкова[3] канд. техн. наук

[1-2] Национальный Исследовательский
Московский Государственный Строительный Университет (НИУ МГСУ),
кафедра информационных систем, технологий и автоматизации в строительстве, Москва
[3] ООО «Системный консалтинг», Москва
[1] ginav@mgsu.ru [2]kuzinaon@mgsu.ru [3]anastacia.ryzhkova@gmail.com

ЕДИНАЯ СИСТЕМА МАРКИРОВКИ РЕСУРСОВ КАК СПОСОБ РАЗВИТИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-5-189-192

Одной из задач функционирования строительных организации является своевременное и комплектное обеспечение строительных объектов необходимыми материально-техническими ресурсами. Реализация на уровне предприятия или государства единой системы маркировки материально-технических ресурсов открывает широкие возможности по развитию в строительной сфере технологии искусственного интеллекта.

Ключевые слова: *маркировка, материально-технические ресурсы, искусственный интеллект, нейронные сети, штрих-коды*.

Введение. Одной из основных задач функционирования строительных организаций является своевременное и комплектное обеспечение строительных объектов необходимыми материально-техническими ресурсами (МТР). С каждым годом ценность для застройщика качественного выполнения данной задачи только растет. Тенденция обусловлена несколькими факторами: 1) развитием точечной застройки; 2) снижением рентабельности строительного производства; 3) волатильностью курса рубля на валютном рынке, которая негативно сказывается на стоимости материалов, произведенных за рубежом.

При построении последовательности обеспечения МТР необходимо учитывать объемно-планировочные решения объекта, предусмотренные проектом решения по материалам и технологиям проведения работ. Также немаловажными факторами являются потенциальные «чистые» риски, связанные с хищением материалов, необходимостью переделывания работ, порчей материалов и инструментов.

В области искусственного интеллекта (ИИ) наибольшего коммерческого успеха достигли экспертные системы и средства для их разработки. В свою очередь, в этом направлении наибольшего успеха достигли проблемно/предметно специализированные средства. Если в 1988 году доход от них составил только 3 млн. долларов, то в 1993 году - 55 млн. долларов [1].

Среди специализированных информационных систем, основанных на знаниях, наиболее значимы экспертные системы реального времени, или динамические экспертные системы. На их долю приходится 70 процентов этого рынка. Авторами было сделано предположение - соединить все ключевые факторы материально-технического снабжения строительного производства: сопоставить, рассчитать оптимальное решение в каждой конкретной ситуации за минимальный промежуток времени с максимальной эффективностью может искусственный интеллект.

Методы. Авторами статьи использовался системный анализ строительного производства как основной подход исследования. Проведена работа по формированию реализуемого на практике подхода к организации строительного производства с использованием современных информационных-телекоммуникационных технологий.

Строительство рассмотрено авторами – как система, состоящая из разных элементов, взаимодействующих друг с другом и обменивающихся между собой материально-техническими ресурсами, что в итоге приводит к выпуску строительной продукции в заданные сроки и с заданным на первоначальном этапе качеством. Обеспечение слаженности и эффективности взаимодействия предполагается возложить на ИИ.

Под ИИ на первоначальном этапе разработки технологии следует понимать машинное обучение, а при комплексном подходе - нейронные сети. Машинное обучение подразумевает изучение методов построения алгоритмов, способных самостоятельно обучаться. Под «нейронными сетями» следует понимать алгоритмы машинного обучения, использующие достаточно большое количество вычислительных ресурсов из-за необходимости учитывать множество факторов.

ИИ обладает коммерческой привлекательностью, так как обладает следующими качествами:

1. Специализация. Переход от разработки инструментальных средств общего назначения к проблемно/предметно специализированным средствам, что обеспечивает сокращение сроков разработки приложений, увеличивает эффективность использования инструментария, упрощает и ускоряет работу эксперта, позволяет повторно использовать информационное и программное обеспечение.

2. Использование языков традиционного программирования и рабочих станций. Переход от систем, основанных на языках искусственного интеллекта (Lisp, Prolog и т.п.), к языкам традиционного программирования (C, C++ и т.п.) упростил "интегрированность" и снизил требования приложений к быстродействию и емкости памяти. Использование рабочих станций вместо ПК резко увеличило круг возможных приложений методов искусственного интеллекта.

3. Интегрированность. Инструментальные средства искусственного интеллекта, легко интегрируются с другими информационными технологиями и средствами (с CASE, СУБД, контроллерами, концентраторами данных и т.п.) [2].

Результаты. Для достижения максимальной эффективности строительного производства необходимо принятие оптимальных решений для разных производственных ситуаций, при этом решения должны быть приняты в кратчайший срок. Для разработки и внедрения ИИ в строительное производство в части выполнения задачи строительных компаний по обеспечению подразделений необходимыми МТР, необходимо выполнение как минимум следующих этапов: 1)предоставление «входных» данных ИИ; 2) предоставление ИИ возможности отслеживать передвижение МТР до попадания на строительную площадку, а также непосредственно на площадке строительства объекта; 3) принятие решений в производственных задачах.

Разберем каждый этап раздельно:

1. Предоставление «входных» данных подразумевает предоставление ИИ списочного состава необходимого и достаточного объема материалов и инструментов для строительства рассматриваемого объекта, ранжированных по названию и количеству. Ввод такой информации может осуществляться несколькими способами.

Наиболее простой – загрузка в ИИ спецификаций материалов и оборудования, которые собраны вручную, либо с помощью планировщика работ (например, MS Project). Но данный подход требует времени, а также постоянного обновления информации, что повлечет увеличение потребности в трудовых ресурсах.

Другой подход заключается в использовании информационного моделирования строительного объекта. В этом случае «входными» данными для ИИ послужит непосредственно информационная модель здания или сооружения, где заложены потребности в материально-техническом снабжении.

2. Этап отслеживания МТР включает в себя несколько подэтапов, которые следуют друг за другом:

- движения МТР от производителя до склада хранения,
- движения МТР от склада хранения до площадки строительства,
- передвижения МТР по строительной площадке,
- учет использованных ресурсов,
- учет испорченных ресурсов,
- своевременное планирование потребности в новых/новой партии МТР.

Авторам видится, что наиболее оптимальным решением для осуществления этапности является оснащение МТР обязательной маркировкой (QR-кодом), которая бы позволила бы максимально полно отражать информацию о производителе, о логистической цепочке, а также быстро (с помощью сканирования знака) заносить информацию о передвижении МТР на стройплощадке.

3.На основе имеющихся у ИИ данных о месторасположении, количестве и качестве МТР ИИ могут приниматься определенные производственные задачи по оптимизации: перемещение МТР со склада на объект строительства, построение графиков и объемов поставок МТР, формирование реестров добросовестных поставщиков и другие.

Процесс обучения ИИ к решению производственных задач следует вести путем приобретения, запоминания и целенаправленного преобразования знаний в процессе обучения на опыте и адаптации к разнообразным обстоятельствам. Могут быть заложены алгоритмы, которые на первоначальном этапе «обучаются» на практических решениях ответственного за материально-техническое снабжение лица штаба строительства, а в последующем решение автоматизируются [3].

Обсуждение. В России активно внедряются двухмерные штриховые коды, которые были разработаны для кодирования большого количества информации (рис.1). Так, например, система маркировки лекарственных средств с помощью нанесения на упаковки информации в формате DataMatrix станет обязательной для всех производителей лекарств с 2018-2019гг.

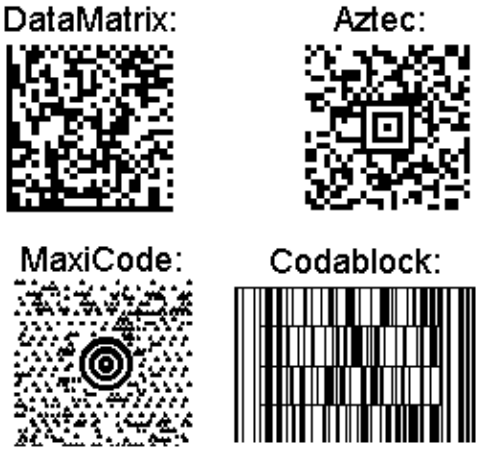


Рис. 1 Примеры двумерных штрих-кодов.

Двумерные штрих-коды различаются между собой, но едины в одном: их считывание производится как по горизонтали, так и по вертикали. Различая в основном заключаются в объеме информации, которую можно занести на штрих-код, а также формой представления: CodaBlock, например, состоит из как бы поставленных поверх друг друга нескольких обычных, линейных штрих-кодов, а матричные штрих-коды позволяют (например, DataMatrix, Aztec, MaxiCode) представляют собой квадрат с «разбросанными» внутри белыми и черными ячейками [4].

Авторами предлагается следующая информация для нанесения в виде штрих-кода: Идентификационный номер строительного материала или инструмента; Идентификационный номер серии продукции; Срок годности (для строительных материалов).

Идентификационный номер строительного материала может быть взят из классификатора строительных ресурсов. Идентификационный номер серии продукции при осуществлении системы на государственном уровне формируется производителем строительных материалов или инструментов, а при реализации на уровне строительной компании – в рамках списка контрагентов предприятия.

Таким образом, ИИ при сканировании штрих-кода получает необходимую и достаточную информацию непосредственно о МТР, о производителе, сроках годности, а в совокупности информации о всех имеющихся МТР на предприятии может эффективно реализовывать задачу по своевременному и комплектному обеспечению строительных объектов необходимыми материально-техническими ресурсами.

Стоит отметить, что введение системы маркировки строительных ресурсов на государственном уровне, может устранить проблему контрафактной продукции или продукции низкого качества, что благоприятно скажется на качестве производимой продукции.

В дальнейшем дополнительно маркировка МТР может содержать индивидуальную информацию по проекту, например, ориентирующую направление сборки, последовательность сборки, установочные риски.

5. Заключение. Программные средства, базирующиеся на технологии и методах искусственного интеллекта, получили значительное распространение в мире. Их важность, и, в первую очередь, экспертных систем и нейронных сетей, состоит в том, что данные технологии существенно расширяют круг практически значимых задач, которые можно решать на компьютерах, и их решение приносит значительный экономический эффект.

ИИ обладает всеми качествами, чтобы стать практическим инструментом по анализу и принятию решений в области материально-технического снабжения подразделений строительной компании, по учету и перемещению использующихся и испорченных ресурсов, своевременному планированию потребности в нужных материалах и инструментах, по автоматизации всех процессов в направлении, а на государственном уровне единая система маркировки строительной продукции будет способствовать устранению контрафактной продукции и ресурсов низкого качества.

Список литературы

1. *Романов П.С.* Обоснование путей построения автоматизированных систем управления артиллерийскими формированиями на основе новых информационных технологий: Монография. – Коломна: ГСГУ, 2005.

2. *Ginzburg A., Ryzhkova A.* Information system of risks analysis and management for construction projects with energy-efficient technologies in use / International Journal of Applied Engineering Research ISSN 0973-4562 Volume 10, Number 21 (2015), Research India Publications, 2015, -pp 41828-41830.

3. *Прасолова А.Е.* Математическое и программное обеспечение обработки многомерных данных нейронными сетями автореферат дис. кандидата технических наук: 05.13.11. Курский государственный университет. – Курск, 2008. – 27 с.

4. *Проскуряков Н. Е.* Метод хранения цифровой информации на аналоговом носителе с использованием штрих-кодов / Н. Е. Проскуряков, А. Ю. Ануфриева, С. И. Ходов // Передача, обработка, восприятие текстовой и графической информации: материалы международной научно-практической конференции (Екатеринбург, 19–20 марта 2015 г.). — Екатеринбург: УрФУ, 2015. — С. 76-80.

05.13.17

Д.В. Горбачев канд. техн. наук

Оренбургский государственный университет,
факультет математики и информационных технологий,
кафедра программного обеспечения вычислительной техники автоматизированных систем,
Оренбург, gordi47@mail.ru

МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ ИНФОРМАЦИОННО-ПОИСКОВОЙ СИСТЕМЫ ЛЕКАРСТВЕННЫХ ПРЕПАРАТОВ

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-5-193-196

Актуальность решение задачи автоматизации поиска и подбора аптек заключается в необходимости информационной поддержки покупателей при решении задач обеспечения лекарственными препаратами и создания условий для повышения качества медицинской помощи. В работе предлагается подход разбиения аптек на кластеры с целью предоставления покупателю возможности выбора места покупки исходя из своих возможностей: финансы, время, транспорт. Предлагаемый алгоритм положен в основу математического обеспечения распределенной информационной системы лекарственного обеспечения рецептурными препаратами

Ключевые слова: *лекарственные препараты, модель поиска, сервис-ориентированная информационная система, бюджетные ограничения, модель кластеризации.*

Введение. Для лечения в медицине применяются рецептурные и не рецептурные лекарственные препараты (ЛП). ЛП, которые назначаются только лечащим врачом, являются рецептурными и отпускаются в аптечных учреждениях только согласно выписанным (на бумажном или электроном носителе) рецептах.

В условиях бюджетного ограничения каждый пациент, которому назначено медикаментозное лечение, стремится получить максимум лекарственных средств, назначенных для лечения, при этом затратив минимум финансов и других ресурсов на поиск, приобретение, и доставку лекарственных препаратов. Пациент обращается за медицинской помощью в лечебное учреждение. В случае назначения лечения, лечащий врач выписывает лекарственные препараты (ЛП) посредством бумажного/электронного рецепта. Следующей проблемой для пациента становится поиск аптеки для приобретения ЛП.

Автоматизация поиска ЛП основывается на применении технологии сервис-ориентированной информационной системы (рис. 1).

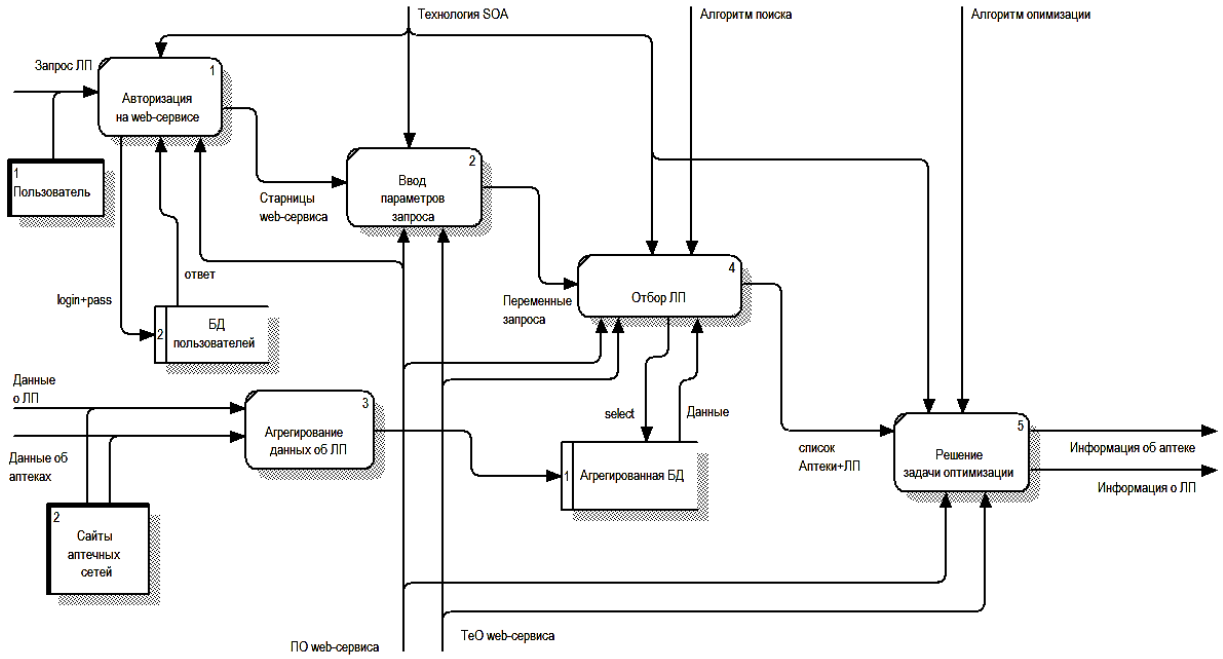


Рис. 1 – Общая схема работы сервиса

При решении задач автоматизации информационных процессов поиска лекарственных препаратов в аптеках используется модель поддержки принятия решений в условиях определенности по критерию минимизации суммарных затрат на покупку ЛП, а также метод многомерной кластеризации.

Модель принятия решения на приобретение лекарственных препаратов.

Задача приобретения назначенного врачом лекарственного препарата (ЛП) может считаться задачей принятия решения в условиях определенности, поскольку, как правило, покупателю известны наименование, эффект и цена лекарственного препарата, а также место расположения аптеки. Имеют место случаи, когда одним из факторов обращения покупателя в ту или иную аптеку выступает его физическое состояние. Если оно достаточно тяжелое (головная боль, озноб, резь в животе и т.д.), то покупатель некоторые факторы при принятии решения выводит в «ограничения» и руководствуется критерием минимизации времени поиска аптеки для снятия болезненных симптомов

$$T_{\Pi}(s_i = \hat{s}) \to min, \text{при } \forall\ C;\ R\ , \qquad (1)$$

где $s_i \subset S, i = \overline{1,n}$ – множество состояний здоровья человека, включающее в том числе $\hat{s} \in s_i$ состояния с достаточно тяжелой симптоматикой;

C – цена ЛП;

R – ожидаемый эффект от применения ЛП.

В такой ситуации производится выбор ближайшей аптеки. Во всех других случаях, можно считать, что покупатель осуществляет поиск аптеки с минимальной стоимостью ЛП и фиксированным временем, при постоянном ожидаемом эффекте:

$$C \to min, \text{при } T_{\Pi} \le \hat{T}_{\Pi}, R = const, \qquad (2)$$

где $\hat{T}_{\Pi}$ – некоторое критическое время поиска.

Безусловно, в выражении (2) $C \neq 0$, а минимизация сводится к сравнению доступной для покупателя сумме денежных средств, которые он готов потратить на приобретение ЛП, т.е. бюджета покупки, B.

Однако, случаи когда производится назначение одного ЛП достаточно редкие в медицинской практике. Чаще врач назначает комплекс препаратов, стоимость которых может существенно отличаться в разных аптеках: одни ЛП в одной аптеке могут быть дешевле, а другие – дороже. Кроме того, зачастую вместо назначенных ЛП могут быть применены аналоги, с тем же действующим веществом, но более эффективные в лечении или по меньшей цене. Таким образом, покупатель сталкивается с проблемой выбора места приобретения назначенного комплекса ЛП.

Проведенные рассуждения позволяют сформулировать экономическую модель принятия решения в следующем виде:

$$\sum_{j=1}^{m} p_{ij} x_i \leq min, \quad (3)$$

при $\tau_i = \tau$ и $z_i = z$, для $i=1,2, \ldots, m$,

где

$\vec{p} = \begin{pmatrix} p_1 \\ p_2 \\ \ldots \\ p_m \end{pmatrix}$ – ценовой вектор, который показывает денежные затраты на единицу каждого из i лекарственных препаратов.

В структуру $\overrightarrow{p_i}$ входят цена ЛП – C_i, транспортные и прочие расходы – z_i, время, затрачиваемое на покупку ЛП – τ_i:

$$\vec{p}_i = \langle C_i; Z_i; \tau_i \rangle.$$

Пусть цена лекарственного препарата в аптеке 1 составляет c_1, в аптеке 2 – c_2, в аптеке 3 – c_3. Пациент, находясь в точке с координатами (α,β) тратит время τ_1, чтобы добраться до аптеки 1, τ_2 – до аптеки 2, τ_3 – до аптеки 3. При этом транспортные расходы составляют z_1, z_2, z_3, соответственно. Тогда, для случая приобретения трех ЛП в количестве x_1, x_2, x_3 суммарные затраты можно определить следующим образом:

$$F(p,x) = \begin{cases} c_{11}x_1 + c_{21}x_2 + c_{31}x_3 + \tau_1 + z_1 \\ c_{12}x_1 + c_{22}x_2 + c_{32}x_3 + \tau_2 + z_2 \\ c_{13}x_1 + c_{23}x_2 + c_{33}x_3 + \tau_2 + z_2 \end{cases} \quad (4)$$

В результате поиска минимальной суммарной стоимости ЛП может быть получено не единственное решение, удовлетворяющее

$$F(p_{ij}, x_i) \leq min, \quad (5)$$

а несколько.

В таком случае все решения $\{f_{min} \ldots f_{\text{доп}}\} \subset F$ необходимо упорядочить по возрастанию функции F, т.е. классифицировать согласно (5). Данная задача решается методом кластерного анализа.

Модель кластеризации распределения аптек по критерию минимизации затрат на покупку лекарственных препаратов

Формально задача кластеризации описывается следующим образом.

Известно множество объектов данных A, каждый из которых представлен набором атрибутов. Требуется построить множество кластеров K и отображение Φ множества A на множество K, т. е. $\Phi: A \to K$. Отображение Φ задает модель данных, являющуюся решением задачи. Качество решения задачи определяется количеством верно классифицированных объектов данных [1, 2].

Множество A определим следующим образом:

$$A = \{a_1, a_2, \ldots, a_m\},$$

где a_j – аптеки населенного пункта (табл. 1).

Таблица 1 – Форма для решения задачи кластеризации

Аптеки	DA(lat)	DA(Long)	ρ1, время	ρ2, затраты	ρ3, цена ЛП

Каждый из объектов кластеризации характеризуется набором параметров:

$$a_j = \{\rho_1, \rho_2, \ldots, \rho_l\}.$$

В данной работе ρ_1, – временны́е затраты, ρ_2, – затраты на транспорт, ρ_3 – цена лекарственного препарата. Причем, в случае, когда $\rho_1 = 0$ и $\rho_2 = 0$, – считается, что покупатель находится непосредственно у аптеки.

Каждая переменная ρ_l может принимать значения из некоторого множества:

$$\rho_l = \{v_l^1, v_l^2, \ldots\}.$$

Задача кластеризации состоит в построении множества

$$K = \{k_1, k_2, \dots, k_\zeta\}.$$

Здесь k_ζ – кластер, содержащий похожие друг на друга объекты из множества А:

$$k_\zeta = \{a_j, a_\xi | a_j \in A, a_\xi \in A \text{ и } d(a_j, a_\xi) < \delta,$$

где δ — величина, определяющая меру близости для включения объектов в один кластер;

$d(a_j, a_\xi)$ – мера близости между объектами – евклидово расстояние.

Анализ методов кластерного анализа показывает, что наиболее подходящим является метод формального элемента [3]. Для упрощения процедуры поиска допустимо использовать группировку относительно точки стояния покупателя. Формирование матрицы разбиения, представляющей собой таблицу, где каждая ячейка содержит значение функции принадлежности данного вектора заданному кластеру, выполняется согласно правилу:

$$u_{j\xi} = \begin{cases} 1, \text{при } d(a_j, a_\xi) < R_l \\ 0, \text{при } d(a_j, a_\xi) \geq R_l \end{cases} \quad (7)$$

Таким образом, в результате получаем матрицу разбиений следующего вида:

$$U = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 0 & 1 & 0\cdots \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0\cdots \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0\cdots \end{vmatrix}.$$

В итоге после завершения итерационной процедуры будет получен набор кластеров:

– аптек наилучшим образом удовлетворяющих потребности покупателя – покупатель уложился в бюджет, сумма покупки ЛП, затраты времени и транспортные расходы минимальны;

– допустимых решений – покупатель уложился в бюджет, сумма покупки ЛП, затраты времени и транспортные расходы допустимы;

– граничных решений – покупатель полностью истратил бюджет, выделенный для покупки ЛП, затраты времени и транспортные расходы допустимы.

Дальнейшая автоматизация процедур расчета стоимости ЛП и кластеризации аптек позволит использовать их в разрабатываемой ИС поиска рецептурных лекарственных препаратов с возможностью отображения результатов кластеризации на картографическом сервисе.

Список литературы

1. Когнитивная бизнес-аналитика : учебник / под науч. ред. д-ра техн. наук, проф. Н.М. Абдикеева. – М:ИНФРА-М, 2011. – 511 с.

2. *Барсегян А.А.* Технологии нализа данных: Data Mining. Visual Mining. Text Mining, OLAP / А. А. Барсегян, М. С. Куприянов, В. В. Стенаненко, И. И. Холод. – 2-е изд., перераб. и доп. СПб.: БХВ-Петербург, 2007. – 384 с.

3. *Загоруйко Н. Г., Ёлкина В. Н., Лбов Г. С.* Алгоритмы обнаружения эмпирических закономерностей. — Новосибирск: Наука, 1985. — 999 с.

4. *Сивоголовко Е.В.* Мет оды оценки качества четкой кластеризации / Е.В. Сивоголовко. – Компьютерные инструменты в образовании. – №4. – 2011. – С. 14-31.

05.13.00

Д.А. Даденков канд. техн. наук, Е.М. Солодкий, О.Р. Гусманов

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
электротехнический факультет, кафедра микропроцессорных средств автоматизации,
Пермь, dadenkov@msa.pstu.ru

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПОИСКА ДЕФЕКТОВ БУМАЖНОГО ПОЛОТНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМЫ МАШИННОГО ЗРЕНИЯ

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-5-197-199

В работе рассмотрена актуальная проблема целлюлозно-бумажного производства, связанная с автоматизацией процесса поиска дефектов бумажного полотна. Представлен обзор возможных дефектов полотна и причины их возникновения. Предложены варианты решения обозначенных проблем с использованием системы машинного зрения.

Ключевые слова: *дефект, бумажное полотно, машинное зрение, обработка изображения, автоматизация.*

Одним из основных показателей эффективности предприятия является качество продукции, которое зависит от множества факторов на всех этапах производства. Автоматизированные системы призваны повысить точность управления, снизив тем самым процент брака, однако и они не способны полностью исключить дефекты.

Потери предприятия, связанные с наличием некачественной продукции можно снизить, усилив контроль изделий на промежуточных этапах производства. Компьютерное зрение призвано решать подобного рода задачи, путем сбора и анализа зрительной информации в различных областях производства, при этом частично или полностью заменяя человека [1].

Бумагоделательная машина (БДМ) типа Б-2300 осуществляет производство бумаги для гофрирования и плоских слоев гофрированного картона [2]. При длительной работе БДМ, на этапах формирования и сушки полотна, возможно возникновение дефектов. В целлюлозно-бумажной промышленности основная масса дефектов приходится на этапы формирования и сушки бумажного полотна. Рассмотрим основныевиды дефектов и причины их возникновения:

1) Плохая работа очистной аппаратуры и загрязнение оборудования: в бумагу попадают крупный сор, слизь и сгустки массы из-за неисправного состояния очистного оборудованияияили еслиего регулярно не чистят и не промывают, слизь проходит через любую очистную аппаратуру и не может быть удалена из массы методом осаждения или сортирования.

2) Пузырьки воздуха в бумажной массе, которые при отливе бумажного полотна лопаются на отсасывающих ящиках, образуя в бумаге просвечивающие пятна и объемный вес бумаги при этом снижается.

3) Сгустки в виде рыхлых комочков массы и пена: попадают в массу главным образом из желобов, со стенок напускных ящиков и линеек, где они накапливаются, а затем смываются потоком массы и образуют крупные пятна в бумаге,и иногда приводят к обрывам полотна.

4) Дефекты бумаги, зависящие от состояния сетки: приводят к браку бумаги и обрывам бумажного полотна: большие отверстия, крупные высыпки и грубые штопки сетки могут маркировать бумагу или приводят к образованию сквозных отверстий; крупные морщины и оттяжки на сетке служат причиной образования в бумаге светлых или темных участков; продольные полосы на сетке дают в бумаге полосы, видимые на просвет и отличающиеся от остального полотна по весу [3].

5) Различие в скорости движения сетки и налива бумажной массы: приводит к неравномерности веса и толщины бумаги по ширине полотна из-за чегобумага неравномерно просушивается и приобретает морщины, «продушины», зачерненные места.

6) Неровный край кромки: некорректная работа декелей и отсечки.

7) Сквозные отверстия, возникают из-за образования пыли на цилиндрах сушильных групп, неправильной работы шаберов, износа сеток.

8) Пятна, возникают из-за попадания в целлюлозную массу различных загрязнений, например, масла.

9) Различные надрывы полотна, возникают со стороны кромки по механическим причинам (попадание посторонних предметов на сетку, резкое изменение нагрузки на привод сушильных групп и т. д).

Основные ухудшения показателей качества полотна, такие как отклонение веса и влажности, определяется сканером на накате в режиме реального времени. Для более точного анализа полотна и определения его физических свойств образец с готового тамбура отправляется в лабораторию. Однако такие способы контроля качества позволяют отслеживать только дефекты, имеющие длительную продолжительность. При этом дефекты разового характера, такие как пятна, сквозные отверстия и надрывы, никак не отслеживаются и проходят на дальнейшие этапы производства. Большинство этих дефектов имеет характерное визуальное проявление и может быть отслеженосистемой компьютерного зрения[4].

Компьютерное зрение представляет собой класс методик обработки и анализа изображений и видеопотока, машинное же зрение является частным случаем применения этих методик на производстве, для контроля и управления технологическим процессом.

Классическая система машинного зрения состоит из нескольких модулей. Изображения получают с одной или нескольких камер, находящихся над диагностируемой областью, позиции камер при этом фиксируются. Современные системы промышленной автоматизации с машинным зрением предназначены для исследования как стационарныхобъектов в фиксированных положениях, так и подвижных объектов. Область сканирования должна быть освещена и устроена так, чтобы облегчить прием изображений, необходимых для обработки и классификации. Когда процесс сильно зависит от времени или вычислительной мощности и превосходит возможности основного процессора, для облегчения задачи обработки используется дополнительноеприкладное оборудованиеи программное обеспечение[5].

Применительно к бумажному производству, выбор камеры зависит от места установки. Если имеются открытые, прямые участки движения бумаги, целесообразно использовать одну камеру. Достоинства такой системы: широкий угол обзора позволит использовать меньшую частоту кадров, простота монтажа и обслуживания, не требуется склейка кадра, низкая цена относительно других систем. К недостаткам можно отнести: требование высокой разрешающей способности камеры, большой объем необходимого пространства для установки. При ограниченных пространствах используют систему из нескольких камер расположенных в ряд (рис. 2) и светодиодной подсветки. Из достоинств можно отметить: компактность, меньшая необходимая разрешающая способность камер. Недостатки: общая сложность и дороговизна системы, значительно большая кадровая частота съемки, ресурсоемкая обработка кадра. Отдельно следует отметить линейную камеру (рис. 2), пиксели на матрице такой камеры расположены в линию, а скорость считывания составляет около 5 ГГц. Специфика данной камеры позволяет комбинировать плюсы предыдущих описанных систем, однако имеет сложности при обработке изображений и техническом обслуживании.

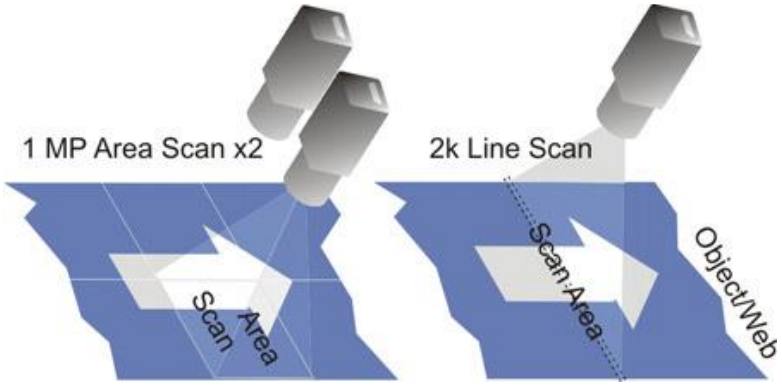


Рис.1 − Сравнение обычной и линейной камер

Обработка изображений может быть реализована как аппаратными средствами (непосредственно камерой),так и программными (с помощью соответствующего программного обеспечения). Современные системы, позволяют исключить аппаратную часть и обрабатывать все средствами вычислительной машины, что снижает стоимость камеры.

Рассмотрим основные этапы обработки изображения:

1) Сглаживание изображения − эта операция устраняет шум, присутствующий на исходном изображении.

2) Бинаризация − процесс перевода цветного (или в градациях серого) изображения в монохромное, где каждый пиксель имеет только два состояния «0» и «1» [6]. Главным параметром этого процесса является порог − некое значение, с которым сравнивается яркость каждого пикселя. Основная задача бинаризации − это значительное уменьшение объема информации, что упрощает ее анализ. С другой стороны, неверный выбор методов бинаризации ведет к ухудшению результата, поэтому подбор алгоритма осуществляется индивидуально под каждую задачу.

2) Увеличение контрастности − выделяет объекты, отличающиеся от фона. Применительно к поиску дефектов, более ярко выделяет пятна на бумажном полотне, что лучше скажется на этапе бинаризации.

3) Увеличение резкости − выделяет четкие границы объектов, принцип действия схож со сглаживанием, но в обратную сторону. Уточняет контур дефектов для лучшего анализа.

4) Фильтр малоразмерных областей − фильтрует монохромное изображение после бинаризации.

5) Разделение объектов − отделение "слипшихся" объектов для корректной идентификации дефектов.

6) Разметка связных областей − визуальное выделение дефектных областей.

Для регистрации и анализа характера дефекта на бумагоделательной машине Б-2300 планируется использовать камеру с монохромной ПЗС матрицей разрешением 2 Мп и частотой кадров 60 Гц. При установке камеры в области наката, где имеется прямой открытый участок полотна протяженностью 1,5 метра, с расстоянием над полотном 2 метра, система сможет различить объект с размером от 3 мм. В качестве сервера обработки и хранения данных планируется использовать персональный компьютер на операционной системе Windows. В качестве программного обеспечения предлагается использование пакета LabVIEW [7]для разработки алгоритмов распознания дефектов. Для освещения подойдут светодиодные устройства, особых требований к ним не выдвигается, из-за использования алгоритмов локальной бинаризации, система устойчива к неравномерному освещению сканируемой поверхности.

Список литературы

1. *Манюкова Н. В.* Компьютерное зрение как средство извлечения информации из видеоряда // Математические структуры и моделирование −2015. − №4(36).

2. *Д.А. Даденков, Л.В. Поносова, А.Б. Петроченков, И.Г. Друзьякин, А.Г. Лейсле.* Разработка экспериментальной установки имитации контуров регулирования технологических процессов производства бумаги предприятия ООО «Пермский картон» // Материалы 3-ей всероссийской научно-технической интернет конференции Энергетика. Инновационные направления в энергетике. CALS – технологии в энергетике, 2010.

3. *Иванов С. Н.*Технология бумаги. − М.: Школа бумаги, 2006.

4. *Шапиро Л., Стокман. Дж.*Компьютерное зрение / Пер. с англ. − М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006.

5. *Форсайт Д.А., Понс Ж.* Компьютерное зрение. Современный подход / Пер. с англ. − М.: Издательский дом “Вильямс”, 2004.

6. Бинаризация изображений: алгоритм Брэдли [Электронный ресурс]. – URL: https://habrahabr.ru/post/278435/ (дата обращения: 11.03.2018).

7. *Визильтер Ю. В., Желтов С. Ю. и др.* Обработка и анализ цифровых изображений с примерами на *LabVIEW IMAQ Vision*. – М.: ДМК Пресс, 2007.

05.13.15

Т.А. Деменкова канд. техн. наук, А.А. Финенко, Д.Д. Яровов

Московский технологический университет (МИРЭА)
Москва, demenkova@mirea.ru, phinenko@gmail.com, skillzer0@hotmail.com

АЛГОРИТМ СВЕРТКИ ДЛЯ ЗАДАЧИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-5-200-203

Работа посвящена задаче прогнозирования поведения солнечной энергии при разработке систем на солнечных батареях. Рассматривается метод на основе многовариантной грей-модели с использованием алгоритма свертки, который обеспечивает альтернативный подход к физическому моделированию данных. Предложено использование модели расчетов, основанной на трех основных переменных для предсказания количества произведенной энергии с учетом сезонности, в которую происходит прогнозирование выработки энергии. Предложенное решение позволяет повысить точность прогнозирования изменений в выходной последовательности данных, относящихся к рассматриваемой задаче.

Ключевые слова: *алгоритм свертки, многовариантная грей-модель, солнечная энергия, прогнозирование измерений.*

В последние годы необходимость в генерации экологически чистой энергии и отмене государственных монополий на энергетические объекты вызвали серьезный интерес к развитию производства возобновляемой энергии как альтернативе современным невозобновляемым источникам, основанным на добываемом из недр земли топливе. Среди всех форм возобновляемой энергии солнечная наиболее доступна и легка в использовании и освоении. Но солнечная энергия является переменным энергетическим ресурсом вследствие прямой зависимости от климатических условий. Для повышения надежности использования в солнечных установках необходимо предусмотреть прогнозирование выработки. Точное прогнозирование позволит сделать солнечную энергетику жизнеспособной альтернативой для современных источников энергии. В работе для изучения процессе прогнозирования солнечной энергии ключевую используется алгоритм свертки с использованием многовариантной грей-модели.

Солнечная энергия является одним из наиболее эффективных источников энергии, вместе с тем КПД солнечных установок обладает неустойчивым характером и сезонной зависимостью. В связи с тем, что солнечные установки не могут производить электроэнергию в необходимых объемах, возникает проблема в необходимости прогнозирования объема производства. Для получения необходимого уровня эффективности всей системы, прогнозирование выходной мощности солнечной установки должно быть точным и безошибочным независимо от погодной чувствительности.

Прогнозирование солнечной активности может быть подразделено на почасовое и ежедневное. Интенсивность солнечного излучения вычисляется каждый час на основе солнечного облучения или полученных ранее значений национальных метеорологических служб. Данные выбираются за интересующий срок с определенной периодичностью, для последующего анализа данных в солнечной установке формируется временной ряд.

Прогнозирование на основе временного ряда было довольно популярно среди исследователей в различных сферах. Было разработано большое количество методов, среди которых метод скользящего среднего значения, который был популярен из-за его простоты в объяснении. Простой метод скользящего среднего значения и позже ARMA, ARIMA, SARIMA, методы ARIMAX были реализованы для прогнозирования временного ряда. С разработкой новых вычислительных методов, таких как искусственные нейронные сети,

метод опорных векторов, самоорганизующиеся карты Кохонена с изучением векторного квантования, прогнозирование стало более точным. Однако большинство этих методов не учитывает динамическое изменение состояния системы. Кроме того, из-за низкого качества данных и увеличивающейся сложности вычислений прогнозирование с помощью указанных выше методов не отличается высокой точностью. Этих недостатков лишена грей-модель.

Грей-модель прогнозирования имеет дело с системами, у которых есть частичное знание о независимых параметрах. Развитием прогнозирования при помощи грей-метода стало использование алгоритма свертки ГМС (1,n) в целях повышения точности прогностических данных. Применение алгоритма свертки, параметры которого динамично меняются в зависимости от регионов, позволяет модели изучать и строить прогнозы поведения солнечной энергии с более высокой точностью [1,2].

В многовариантной грей-модели с алгоритмом свертки введена контрольная переменная *u*, который отражает эффект влияния изменяемых параметров на поведение системы в целом. Стабильность системы достигается путем противопоставления поведенческим переменным, которые нестабильны, переменных, отражающих аккумулирование энергии. Предполагается, что данные наблюдений различаются по времени, но время при наблюдениях не изменяется. Входные данные для прогнозирования состоят из $n-1$ входных последовательностей $S_2^{(0)}$, $S_3^{(0)}$, $S_n^{(0)}$, которые представляют входные данные для предсказываемого периода и последовательность $S_1^{(0)}$ отражает полученные данные для уже предсказанной переменной. Таким образом, полученные данные для предсказанной последовательности даны как:

$$S_1^{(0)} = \{S_1^{(0)}(p+1), S_1^{(0)}(p+2), \ldots S_1^{(0)}(p+r)\}, \quad (1)$$

где p – период задержки, r – размер последовательности данных.

Дифференциальное уравнение, по которому вычисляется прогноз в грей-модели с алгоритмом свертки:

$$\frac{dS_1^{(1)}}{dt} + b_1 S_1^{(1)}(p+t) = b_2 S_2^{(1)}(t) + b_3 S_3^{(1)}(t) + \ldots + b_n S_n^{(1)}(t) + \mathrm{u}\ , \quad (2)$$

где $t = 1, 2\ldots, f$ – количество прогнозирований, $b_1, b_2, b_3, \ldots b_n$ – параметры для оценки.

Ответ системы при условии входного импульса $\delta(t)$:

$$\frac{dS_1^{(1)}(t)}{dt} + b_1 S_1^{(1)}(t) = \delta(t)\,. \quad (3)$$

Использование грей-метода с алгоритмом свертки позволяет повысить точность прогнозирования выработки электричества на солнечных установках. В качестве входных данных для функционирования метода берутся такие климатические показатели, как местоположение солнечной панели, температура, количество световых дней. Коэффициент полезного действия солнечной установки, главным образом, зависит от интенсивности излучения, температуры окружающей среды, скорости ветра, влажности и некоторых других факторов, таких как данные аэрозольного индекса. Он также зависит от местоположения панели, ориентации и положения солнца на небосклоне. Но в местах, где современные системы измерения недоступны по тем или иным причинам, доступ к большим данным для лучшего прогнозирования невозможен. Для таких условий и разработана модель ГМК (1,*n*), которая может использоваться для точного предсказывания количества выработанного электричества. В качестве входных данных для функционирования метода берутся данные, собранные за определенный период в определенном месте, включающие в себя, в том числе индекс освещенности и температуру окружающей среды. Для функционирования метода также важны данные о количестве уже произведенной энергии. Пример прогнозирования с использованием данной модели представлен на рис.1.

При использовании модели расчетов ГМК (1,3), основанной на трех основных переменных, для предсказания количества произведенной энергии, также необходимо учитывать и сезонность, в которую происходит прогнозирование выработки энергии. Она может быть проверена при помощи вычисления фактора автокорреляции с использованием алгоритма построения статистики D-W (Дарбина-Уотсона).

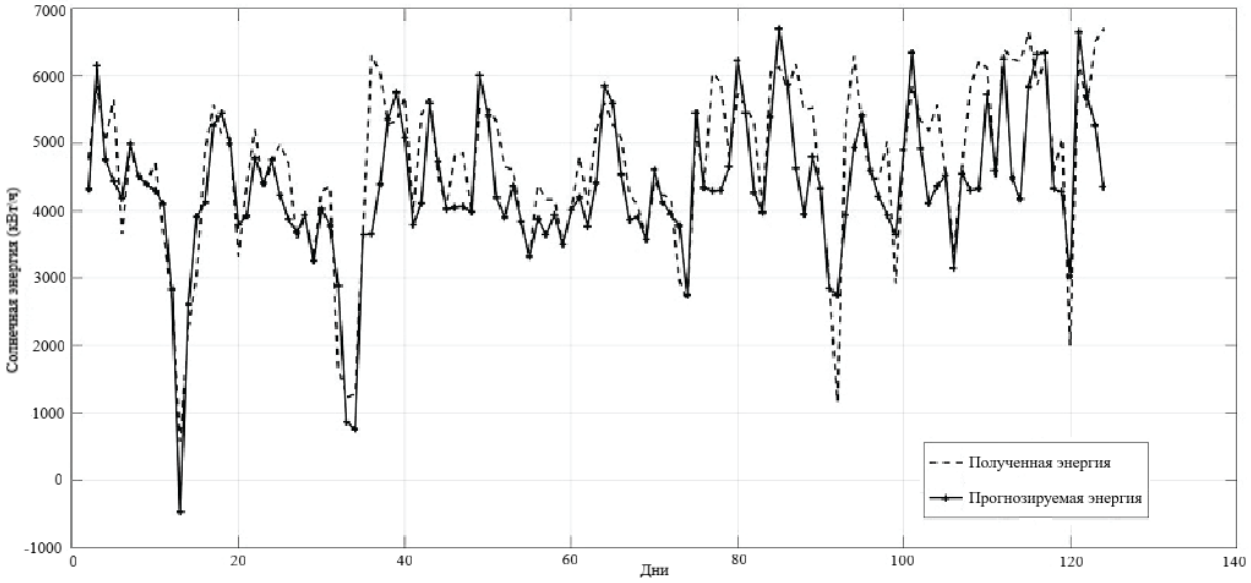


Рис. 1- Прогноз выходной энергии с использованием ГМК (1,3)

Многовариантная грей-модель с использованием алгоритма свертки призвана обеспечить альтернативный подход к физическому моделированию данных о солнечной энергии, об эффективности применения солнечных установок в тех или иных климатических зонах при условии достаточности и доступности статистических данных. Повысить точность и облегчить поиск благоприятных климатический зон может сьемка с воздуха. Одним из инструментов такой съемки является спутник с использованием системы SAR (Synthetic Aperture Radar) [3].

Для радиолокационных данных можно выделить пять основных уровней обработки. Названия этих уровней немного изменяются в зависимости от типа радиолокационной системы, но суть остается. В данном случае имеет смысл рассматривать лишь первые три уровня радиолокационной обработки.

Способ, с помощью которого система SAR достигает высокого разрешения по азимуту, может быть объяснен с нескольких точек зрения: как проектирование через манипуляции данных виртуальной антенны (с синтезированной апертурой) относительно ширины луча, как допплеровский фильтр, как сжатие данных или обработка соответствующим фильтром или как гибрид голографической системы. Предложенная технология обработки SAR представлена на рис.2.

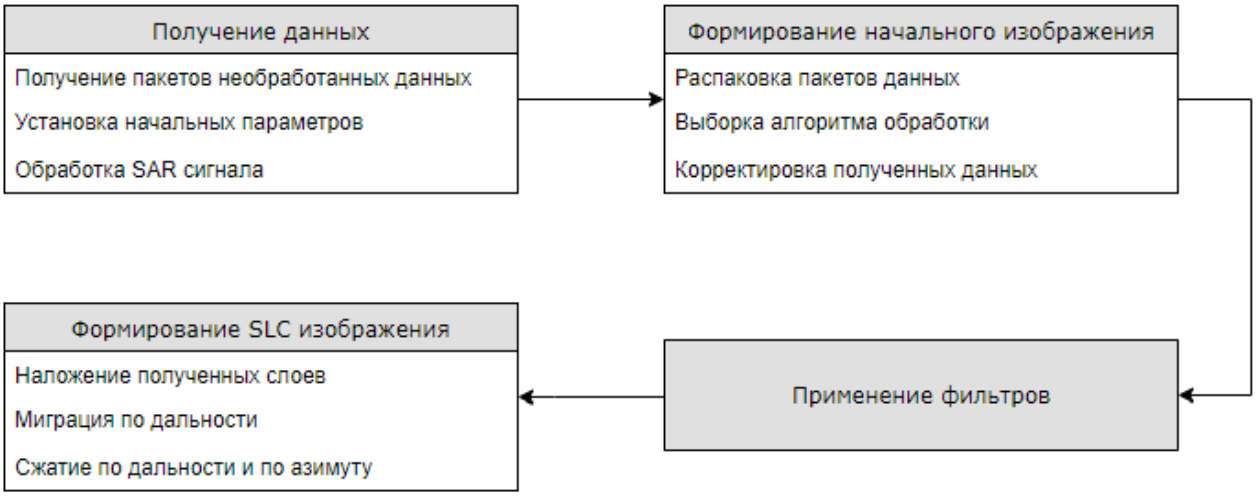


Рис. 2- Структура обработки SAR

В работе выявлены текущие проблемы, препятствующие широкому применению солнечной энергии, и было предложено решение по применению прогностического метода на основе распознавания снимков с космических аппаратов. Полученные результаты могут быть применены в дальнейшем для выбора места для развертывания солнечной установки, а также для анализа эффективности ее работы.

Список литературы

1. *Wang, Zheng-Xin, Peng Hao*. An improved grey multivariable model for predicting industrial energy consumption in China // Applied Mathematical Modelling. – 2016. - vol. 40 – pp. 5745–5758.
2. *Hui, Hongqi, Fachao Li, Yan Shi.* An optimal multivariable grey model for logistics demand forecast // International Journal of Innovative Computing, Information and Control. – 2013. – vol. 9, no 7, pp. 2907-2918.
3. *Никольский Д.Б.* Обработка данных в радиолокационном дистанционном зондировании Земли // Геоматика. – 2008. - №1. – С. 7-10.

05.13.10

А.В. Иващенко д-р техн. наук, С.А. Корчивой

Научно-исследовательский институт радио,
г. Москва, anton.ivashenko@gmail.com

МОДЕЛЬ ИНФРАСТРУКТУРНОГО ВОЗВРАТА В ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКЕ

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-5-204-207

В работе предлагается модель инфраструктурного возврата, учитывающая особенности планирования и мониторинга исполнения проектов по развитию цифровой экономики. Предлагаемая модель основана на концепции виртуальных посреднических операторов для управления цифровыми социальными и экономическими системами. Реализация предложенной модели производится для проектов развития информационно-коммуникационных технологий и сетей связи.

Ключевые слова: *цифровая экономика, модель инфраструктурного возврата, виртуальный посреднический оператор.*

Современные условия и правила отношений, которые свойственны цифровой экономике, требуют особенных подходов по реализации организационного управления [1]. В этом смысле открываются новые перспективы исследований в области цифровых социальных и экономических систем.

Реализация проектов цифровой экономики связано с технологическим развитием на разных уровнях: от импортозамещения до модернизации сферы управления и финансов. Попытки такой модернизации делаются сейчас: в России принята государственная программа «Цифровая экономика» [2], одной из задач которой является запуск внебюджетных механизмов привлечения инвестиционных ресурсов.

Одновременно с этим должны заработать новые управленческие модели, базирующиеся на ограниченном участии государства в управлении компаниями и мягком влиянии миноритарных участников бизнеса. Предполагается постепенное снижение доли государственного участия во всех отраслевых компаниях, в которых присутствует государство, до уровня, когда государство уже в среднем становится миноритарием. При этом, не смотря на бюджетные ограничения, роль государственных институтов развития, государственных инструментов поддержки не снижается, а будет только наращиваться. Таким образом, при выборе приоритетных направлений государственной поддержки и государственного регулирования необходимо учитывать особенности планирования и мониторинга исполнения проектов по развитию цифровой экономики.

Для успеха в экономической деятельности в настоящее время предстоит провести реформу существующих направлений бизнеса и открыть новые направления, разработав и применив в них гибкие модели управления и поддержки принятия решений, то есть фактически – выработать новую культуру ведения бизнеса. Тем самым, предстоит изменить модель общества под новые отношения, связанные с введением в технологическую, управленческую и финансовую модели организации бизнеса цифровых платформ.

При обосновании выбора направлений государственной поддержки цифровизации необходимо идти от задач, определенных в документах стратегического планирования, используя имеющиеся сильные стороны, находя партнеров по принципу взаимного совпадения интересов в компетенциях, строить модель управления, позволяющую достигать заданные показатели эффективности. При выборе приоритетов необходимо прогнозировать влияние преобразований на экономику, выраженное в экономических показателях.

Одно из успешных направлений реализации организационного управления связано с внедрением виртуальных посреднических операторов [3], продемонстрировавших хорошую результативность в задачах управления распределенными ресурсами в логистических цепях поставок. Основной особенностью виртуального посреднического оператора является выстраивание ИТ-инфраструктуры для обеспечения открытого взаимодействия участников рынка. Для координации такого взаимодействия используются методы и средства кондициального управления, основанного на стратегиях информационного воздействия с учетом комбинированного влияния фактора времени и человеческого фактора.

Важным аспектом реализации виртуального посреднического оператора является неопределенность в оценке его экономической эффективности. При внедрении новых информационно-коммуникационных технологий обычно говорят о появлении новых возможностей у их пользователей, связанных с усовершенствованием или облегчением рутинных процессов. Например, реализация Интернета вещей позволяет строить полезные системы безопасности или умные дома, построение новых сетей связи – обеспечивать высокопроизводительный доступ в Интернет, реализация цифрового телевидения – повышать качество, доступность и надежность приема телевизионного сигнала.

На подобных рассуждениях основано формирование контрольных показателей и ключевых индикаторов инвестиционных программ развития информационно-коммуникационных технологий в России и за рубежом. Контроль значений заданных показателей и индикаторов позволяет реализовать стратегии проектного управления и бюджетного регулирования [4, 5], то есть определять структуры бюджетов, процедуры формирования, согласования, утверждения бюджетов и контроль за их фактическим исполнением, нормативную базу, типовые процедуры и механизмы принятия управленческих решений.

Данный подход ограниченно применим к виртуальным посредническим операторам. Проблема состоит в том, что сама по себе новая ИТ-инфраструктура посреднического оператора дополнительных услуг не предоставляет и оптимизацию реальных процессов не обеспечивает. Более того, учитывая риски информационного взаимодействия, связанные с открытым характером распространения информации, а также дополнительные усилия, необходимые для синхронизации поведения участников взаимодействия в реальности и виртуальном мире, возможно повышение нагрузки на существующие бизнес-процессы в связи с выходом в информационное пространство.

Однако, реализация виртуального посреднического оператора дает новые возможности для социальных и экономических систем, обеспечивая качественно новый уровень организационных отношений. Например, внедрение открытого сервиса для заказа такси не повышает эффективность диспетчерской, но может частично или полностью заменить ее в новых условиях информационного взаимодействия. В этой связи важно учитывать эти возможности в моделях цифровой экономики при оценке эффективности принимаемых решений по реализации виртуальных посреднических операторов.

Для решения этой проблемы была разработана модель инфраструктурного возврата цифровой экономики, основанная на соотнесении виртуальных преимуществ экономической системы и затрат на развитие ее инфраструктуры.

В основе модели лежит формальное представление продуктов или услуг в виде цепочек взаимосвязанных сервисов, для реализации которых необходимо разовое или регулярное выполнение определенных мероприятий известной стоимости. При накоплении достаточного количества сервисов они могут объединяться и дополняться, генерируя новые сервисы, не требующие дополнительных мероприятий или ресурсов.

Новые сервисы могут появляться под влиянием активности их пользователей. Например, в случае частого и регулярного совместного использования двух или более сервисов разными пользователями, они могут объединяться в виде комплексной услуги. Таким образом, обеспечивается эмиссия сервисов, поддерживаемая потреблением и возникающая дополнительно к проведенным затратам на реализацию инфраструктуры.

Потребление каждого сервиса пользователем формализуется и фиксируется в виде событий, характеризующихся временем возникновения и стоимостью. Суммарный доход от предоставления сервисов за определенный период может быть соотнесен с расходами на реализацию и поддержку базовой инфраструктуры. Поскольку данная модель предусматривает потребление услуг, полученных в результате эмиссии, становится возможен расчет инфраструктурного возврата в условиях высокой виртуализации.

Выбор базовой инфраструктуры связан не только с экономической составляющей, то есть с расходами на ее реализацию и поддержку, но и с рисками потери ее функциональности в силу влияния обстоятельств непреодолимой силы, в том числе политических рисков.

Кроме того, выбор того либо иного варианта технологии и масштаба реализации бизнес-модели напрямую зависит от эффективности работы механизмов привлечения инвестиций: скорости и объема привлекаемых средств, условий привлечения, правовых механизмов защиты бизнеса и инвесторов, как для владельцев инфраструктуры, так и для пользователей сервисов, развивающих бизнес на вторичной основе на их базе. Так развитие перспективных механизмов привлечения средств по процедуре ICO существенно улучшает инвестиционный климат и расширяет возможности создания и развития направлений бизнеса. По факту объем привлечения инвестиционных ресурсов может не совпадать и даже превышать эффективные размеры бизнеса, увязанные на показатели возвратности инвестиций, что является дополнительным стимулом для экстенсивного роста компаний в условиях цифровой экономики.

Доход от эмиссии сервисов может образовываться от оплаты предоставляемых поставщикам и потребителям посреднических услуг. Поскольку виртуальный посреднический оператор может не обладать собственными ресурсами, получаемый доход полностью зависит от возможностей предоставляемой инфраструктуры. Учитывая небольшой размер оплаты каждого сервиса (сравнительно с общими расходами на ввод оператора в действие), для достижения положительного инфраструктурного возврата необходимо обеспечить ритмичность и постоянный рост объемов оказываемых сервисов, для чего производится непрерывное расширение возможностей платформы оператора.

В случае дефицита мощностей предоставляемой инфраструктуры могут наблюдаться обратные процессы перехода сервисных компаний в инфраструктурную сферу: приобретаются и создаются собственные центры обработки данных, сети и линии связи, расширяется инфраструктура для наращивания сервисных услуг. По такому пути идут компании Google, Яндекс, виртуальные операторы связи.

Таким образом, модель инфраструктурного возврата обеспечивает эволюционное развитие цифровой экономической системы. Появление новых сервисов приводит к развитию и модернизации требований к предоставляемым услугам, которые должны учитываться при синхронном развитии инфраструктуры. В этом смысле с одной стороны необходимо обеспечивать поддержание постоянного интереса поставщиков и потребителей оператора, а с другой сохранять надежность и непротиворечивость существующих сервисов для обеспечения требуемого уровня качества посреднических услуг, в том числе снижая уровень политических и финансовых рисков.

Практическое решение указанных задач производится с помощью средств мониторинга, анализа и управления технологическим развитием ИТ-инфраструктуры компаний, обеспечивающих ее постоянное технологическое совершенствование, а также модернизацию и перенастройку сферы управления и финансов. При этом ожидается замещение существующих инфраструктурных компаний и компаний, оказывающих услуги в рамках традиционных моделей ведения бизнеса.

Описанный сценарий возможен при условии совпадения приоритетов развития бизнеса и государственной поддержки и регулирования развития цифровых технологий в разных секторах экономики, что должно находить отражение в документах стратегического планирования, включая государственные программы и документы бюджетного планирования, нормотворческой деятельности, обеспечивающей регулирование аспектов новых правовых отношений субъектов в информационном пространстве.

Список литературы

1. *Воронин А.А., Губко М.В., Мишин С.П., Новиков Д.А.* Математические модели организаций: Учебное пособие. – М.: ЛЕНАНД, 2008. – 360 с.
2. Государственная программа «Цифровая экономика Российской Федерации», утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 28 июля 2017 г. № 1632-р;
3. *Иващенко А.В., Сюсин И.А.* Управление виртуальным посредническим оператором в сфере услуг // Системы управления и информационные технологии. – 2015. – № 1(59). – С. 90 – 94
4. *Волкович, О.Н.* Управленческий учет: Учебное пособие. – М.: ТК Велби, изд-во Проспект, 2005. – 472 с.
5. *Лихачева, А. С.* Финансовое планирование на предприятии: Учеб.-практ. пособие. М. : ТК Велби, изд-во Проспект, 2005. – 264 с.

05.13.10

А.В. Иващенко д-р техн. наук, П.В. Ситников канд. техн. наук, О.Л. Сурнин

ООО «Открытый код»,
Самара, anton.ivashenko@gmail.com

АКЦЕНТНАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ В СИТУАЦИОННЫХ ЦЕНТРАХ

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-5-208-210

В статье описывается новая концепция акцентной визуализации для интерактивных пользовательских интерфейсов, реализующих современные технологии виртуальной и дополненной реальности. Концепция акцентной визуализации предназначена для ситуационных центров корпоративного и регионального управления. Эффективность предложенной технологии подтверждается успешным применением в ситуационных центрах управления производственными предприятиями, холдингами и логистическими центрами.

Ключевые слова: *ацентная визуализация, дополненная реальность, ситуационный центр, корпоративное управление.*

Современная теория организационного управления [1] предусматривает реализацию интеллектуальной поддержки принятия решений на основе анализа больших объемов информации, целевых индикаторов и контрольных показателей, и динамики их изменения под влиянием внешних и внутренних факторов. Практическая реализация методов и средств организационного управления предполагает построение ситуационных центров, интегрирующих различные источники данных, их обработку и предоставление руководству предприятия и лицам, принимающим решения.

Опыт практической реализации ситуационных центров в государственном и корпоративном управлении [2 – 4] позволил выявить ряд базовых тенденций и закономерностей, влияющих на эффективность их реализации в реальном секторе экономики. Данные наработки были обобщены в виде открытой сервисной платформы (OSP), реализующей функционально полные требования по ведению электронных архивов, реализации полнотекстового семантического поиска, управлению знаниями в рамках онтологии и обработке больших объемов слабоструктурированной информации (Big Data). Таким образом, обеспечивается сбор и обработка информации, необходимой для реализации стратегического и оперативного управления в рамках ситуационного центра.

Однако, для реализации полноценной поддержки принятия решений необходимо также особое внимание уделять методам и средствам визуального представления информации в ситуационном центре. Для успешного решения этой задачи широко используются интерактивные информационные панели (dashboard), позволяющие обеспечить эффективную комбинирование картографических данных, графиков и схем, нацеленных на комплексное представление всей необходимой информации для поддержки принятия решений.

Поскольку отображение всей необходимой информации с высоким уровнем подробности средствами такой панели не представляется возможным, необходимо реализовывать настраиваемые пользовательские интерфейсы, не только ситуационно подстраивающиеся в соответствии с текущими обстоятельствами, но и адаптирующиеся под особенности пользователей. Такой подход позволяет регулировать требуемый уровень детализации данных и контролировать внимание к важным изменениям.

Важность учета особенностей восприятия информации пользователями согласуется с современными тенденциями развития пользовательских интерфейсов [5], в том числе на базе технологий виртуальной и дополненной реальности. В частности, проблема поиска сбалансированного набора технологий интерактивной визуализации, включающего

интерактивную панель, очки дополненной реальности, сенсоры отслеживания взгляда и жестовые интерфейсы, привела к необходимости автоматизированной подстройки виртуального контента под требования и особенности восприятия конкретных пользователей.

Применение современных технологий дополненной реальности обеспечивает принципиально новые возможности по реализации пользовательских интерфейсов. Решения на их основе активно используются в технике, медицине, на транспорте, в образовании и развлечениях. На основе обобщения опыта разработки ряда решений дополненной реальности была предложена новая технология акцентной (фокусной) визуализации, суть которой состоит в отслеживании внимания пользователей ситуационного центра в контексте наблюдаемой сцены и адаптивной подстройке виртуальных и активных элементов пользовательского интерфейса [6, 7].

Для реализации концепции акцентной визуализации была разработана программная архитектура, предложенная на рис. 1. Для пользователя (лица, принимающего решения) описывается профиль, в котором выделяется фокус и контекст. Фокус используется для представления текущего интереса пользователя. Контекст формализует информационное пространство (понятийный аппарат и описание текущей ситуации), в котором он выполняет свои действия. Фокус и контекст подвергаются влиянию поступающей информации и изменяются под влиянием поведения пользователя.

События и обновления, поступающие из внешних источников, обрабатываются с помощью инструментов семантического и статистического анализа и представляются в соответствующих тематических виджетах. В случае необходимости обновления привлекают внимание пользователя с помощью соответствующих отметок и уведомлений. Данные действия производятся в навигаторе, учитывающем динамику показателей, а также комбинацию фокуса и контекста соответствующего пользователя.

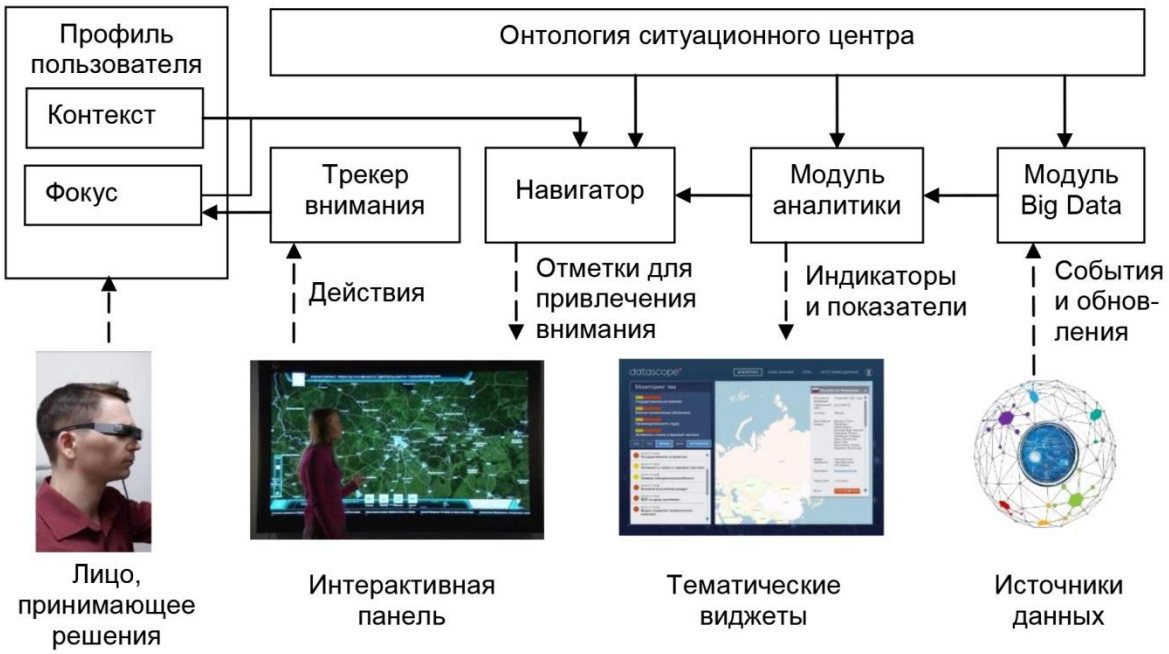


Рис. 1. Реализация акцентной визуализации в ситуационном центре

Для отслеживания внимания пользователей ситуационных центров весьма эффективны системы управления компьютером с помощью взгляда (Eye trackers, ай-трекеры), весьма популярные в современных компьютерных играх. Ай-трекер представляет собой контроллер для управления в играх и компьютерных приложениях с помощью взгляда и способно одновременно отслеживать положение головы и направление взгляда пользователя. Практическое использование ай-трекеров в качестве технического средства акцентной визуализации позволяет определить основные особенности по реализации пользовательского интерфейса и адаптировать его для конкретных особенностей восприятия каждого человека.

Совместное использование ай-трекеров и планшетов (очков) дополненной реальности позволяет реализовать двойной контроль внимания пользователей и минимизировать объем дополнительной информации виртуальной сцены, формируемой для решения поставленных задач. Такое решение позволяет повысить удобство постоянного использования средств дополненной реальности на практике.

Проведенные эксперименты по исследованию динамики внимания пользователей средств дополненной реальности подтвердили гипотезу о том, что люди по-разному воспринимают предоставляемую им информацию и оценивают удобство пользовательского интерфейса в относительно непривычной среде дополненной реальности. Этот факт также подтверждает необходимость применения акцентной визуализации в ситуационных центрах.

Существующие возможности ситуационного центра с акцентной визуализацией, реализованные в рамках OSP, включают:

- построение сборного интерфейса (Dashboard) ситуационного центра;
- визуализация оперативной обстановки (на карте, схеме, диаграмме);
- отображение данных по объектам;
- отображение различных вариантов развития событий;
- адаптация интерфейса на основе отслеживания и привлечения внимания пользователей;
- обновление данных по результатам поступления новой информации;
- формирование сводных отчетов любой сложности.

Технология акцентной визуализации была использована при создании региональных ситуационных центров мониторинга показателей развития, транспортного логистического центра управления ресурсами, медицинских информационных системах, системах анализа данных открытых источников и социальных сетей в Интернете, ситуационного центра послепродажного технического обслуживания, а также при создании интерактивных электронных технических руководств дополненной реальности.

Практическая реализация акцентной визуализации позволяет повысить удобство работы с интерактивными панелями и средствами дополненной реальности, обеспечивая адаптацию виртуальных и активных элементов пользовательского интерфейса под требования и предпочтения конкретных пользователей.

Список литературы

1. *Воронин А.А., Губко М.В., Мишин С.П., Новиков Д.А.* Математические модели организаций: Учебное пособие. – М.: ЛЕНАНД, 2008. – 360 с.

2. *Ivaschenko A., Sitnikov P., Andreev M., Surnin O.* Open Services Provider for supply chains // Proceedings of the 20th Conference of Open Innovations Association FRUCT, FRUCT Oy. – p. 98 – 104

3. *Ivaschenko A.V., Sitnikov P.V., Tanonykhina M.O.* An open service provider concept for enterprise complex automation // Journal of Physics: Conf. Series 803 (2017) 012059 doi:10.1088/1742-6596/803/1/012059. – 6 p.

4. Андреев М.В., Иващенко А.В., Ситников П.В. Система управления почтовым сортировочным центром на базе платформы OSP // Вестник транспорта Поволжья, 2016. – № 4. – с. 74 – 78

5. *Holzinger A.* Interactive machine learning for health informatics: when do we need the human-in-the-loop? // Brain Informatics, Vol. 3, 2016. - p. 119-131

6. *Ivaschenko A., Milutkin M., Sitnikov P.* Accented visualization in maintenance AR guides // Proceedings of SCIFI-IT 2017 Conference, April 10-11, 2017, Bruges, Belgium, EUROSIS-ETI. – p. 42 – 45

7. *Ivaschenko A., Sitnikov P., Krivosheev A.* AR Guide for a robot design kit // Proceedings of SCIFI-IT 2018 Conference, Bruges, Belgium, April 18 – 19, 2018. – pp. 41 – 45

05.13.00

А.Н. Илюхин канд. техн. наук, Ш.А. Хамадеев канд. техн. наук,
Ш.Ш. Хузятов канд. техн. наук

Казанский федеральный университет, Набережночелнинский институт,
кафедра информационных систем,
Набережные Челны, Lexusil@rambler.com

ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ ДИЗЕЛЕМ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-5-211-213

Настоящая статья посвящена рассмотрению методики управления режимами работы дизеля с использованием базы знаний нечетких правил. На основе предложенной методики проведен анализ полученной математической модели управления дизелем, реализованной в виде программного продукта. Полученная математическая модель двигателя позволяет производить управление с точностью 1,57%.

Ключевые слова: н*ечеткая логика, дизель, математическая модель, лингвистическая переменная.*

Построение математической модели управления дизелем является сложной многомерной задачей, связанной с большим количеством воздействий на двигатель, требующим сложных расчетов большого количества настраиваемых коэффициентов. Данный процесс можно автоматизировать путем внедрения интеллектуальной системы на основе нечеткой логики. Применение данного подхода позволяет на основе экспериментальных данных получить модель двигателя, учитывающего все необходимые параметры работы, а также производить адаптацию базы данных нечетких правил с одной модели на другую в автоматизированном режиме без участия человека [1].

Материалом для работы послужили результаты испытаний двигателя 740-30-260, с номером двигателя 82522592 и номером ТНВД 732888 на станции испытаний двигателей ОАО «КАМАЗ-Дизель» ПАО «КАМАЗ». Во время проведения испытаний производилось управление регулятором топливного насоса высокого давления (ТНВД) (параметр *L*) при фиксированной внешней нагрузке, равной 10 Нм, и производились замеры оборотов вращения коленчатого вала двигателя (параметр *n*) и момента нагрузки (параметр *M*). Результаты измерений представлены в таблице.

Таблица - Экспериментальные данные.

L, мм	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
n, мин$^{-1}$	600	935	1155	1355	1555	1760	1960	2165	2340	2425	2450
M, Нм	73	101	120	126	125	118	113	111	110	110	110

Для обработки экспериментальных данных была разработана математическая модель управления режимами работы дизеля на основе базы знаний нечетких правил. Полученная база знаний позволяет вычислить нечеткое значение выходной переменной в зависимости от входных параметров. Для перехода с нечеткого диапазона значений к четким управляющим параметрам используют нечеткий вывод. На практике применяются пять основных схем нечеткого вывода: Мамдани, Цукамото, Суджено, Ларсена и упрощенная схема [2]. Реализуем вывод четких значений на основе нечетких меток с помощью алгоритм Суджено. Применение данного алгоритма позволяет сократить время обработки информации, а использование в нем среднего суммирующего значения для каждой лингвистической переменной позволяет получить высокую точность.

При получении экспериментальных данных (таблица) лингвистическую переменную, обозначающую положение регулятора ТНВД, определили через букву *L*. Данный параметр во время испытания можно замерить довольно точно. Базовое значение *L* определяется диапазоном перемещения регулятора ТНВД и составляет от 0 мм до 50 мм. Для обеспечения требуемой точности этот диапазон разобьем на одиннадцать термов (0, 5, 10, … 50).

Следующей лингвистической переменной будет положение регулятора нагрузочного устройства, обозначаемого через *F*. Нагрузочное устройство представляет собой гидротормоз, изменение нагрузки которого осуществляется уровнем воды в резервуаре. Базовый диапазон разобьем на пять равных промежутков внешней нагрузки Нм (0, 10, …,40) и соответствующих термов (0, 1, … 4). Выбранное число нечетких меток удовлетворяет заданному требованию точности.

Обороты вращения коленчатого вала двигателя представим в виде лингвистической переменной *n*, ее базовое значение составляет от 600 до 2450 мин$^{-1}$. Основным воздействием изменяющим данный параметр является нечеткое множество *L*, поэтому аналогично разобьем лингвистическую переменную *n* на 11 нечетких меток. Значение величин термов *n* определили во время проведения эксперимента (таблица).

Величина крутящего момента двигателя *M* также, как и *n*, зависит от лингвистической переменной *L* и, следовательно, аналогично разбивается на 11 нечетких меток. Величины термов данной характеристики также получим во время проведения испытаний (таблица).

На практике применяются четыре функции принадлежности: Гауссово распределение, колоколообразная функция, треугольная функция и трапециевидная функция. В рассматриваемых лингвистических переменных больший диапазон значений имеет линейные зависимости, в результате чего, выбираем треугольную функцию принадлежности. Данная функция принадлежности, лучше, чем остальные функции, описывает линейные участки.

Используя полученные лингвистические переменные, сформулируем нечеткое правило управления:

ЕСЛИ *n* ИЛИ *M* ТО *L*,

где *n* – лингвистическая переменная, определяющая частоту вращения коленчатого вала;

M - лингвистическая переменная, определяющая крутящий момент двигателя;

L - лингвистическая переменная, определяющая положение регулятора ТНВД.

Сформированная база знаний нечетких правил имеет следующий вид:

ЕСЛИ 600 ИЛИ 73 ТО 0;
ЕСЛИ 935 ИЛИ 101 ТО 5;
ЕСЛИ 1155 ИЛИ 120 ТО 10;
ЕСЛИ 1355 ИЛИ 126 ТО 15;
ЕСЛИ 1555 ИЛИ 125 ТО 20;
ЕСЛИ 1760 ИЛИ 118 ТО 25;
ЕСЛИ 1960 ИЛИ 113 ТО 30;
ЕСЛИ 2165 ИЛИ 111 ТО 35;
ЕСЛИ 2340 ИЛИ 110 ТО 40;
ЕСЛИ 2425 ИЛИ 110 ТО 45;
ЕСЛИ 2450 ИЛИ 110 ТО 50.

Полученная база знаний на основе нечеткого вывода Суджено позволяет перейти от управляющего нечеткого значения к четкому [3].

На основании механизма нечеткого вывода Суджено и построенной базы знаний нечетких правил управления режимами работы дизеля определим необходимое положение регулятора ТНВД для произвольного значения оборотов вращения коленчатого вала [4].

Возьмем для примера частоту вращения коленчатого вала x=1700 об/мин. На основе лингвистической переменной *N* вычислим значения всех функций принадлежностей (μ(600)=0; μ(935)=0; μ(1155)=0; μ(1355)=0; μ(1555)=0,29; μ(1760)=0,71; μ(1960)=0; μ(2165)=0; μ(2340)=0; μ(2425)=0; μ(2425)=0).

Четкое выходное значение определяется следующим образом:

$$l = \sum_{i=1}^{n} a_i \cdot \mu(a_i) = 23.55 \text{ мм}$$

где l - четкое значение переменной L,

a_i - термы принадлежащие лингвистическим переменным N или M;

$\mu(a_i)$ - принадлежность переменой L к соответствующей нечеткой метке.

Согласно стандарту [5] предполагается измерение параметров дизеля в стационарном режиме с шагом равным 200 мин$^{-1}$. Для каждого значения оборотов коленчатого вала дизеля рассчитывается соответствующее значение положения регулятора ТНВД.

Полученная математическая модель двигателя соответствует реальной картине с максимальной относительной погрешностью 1,57 процента. Данная величина определяется как сумма погрешности модели, максимально 1,5 процента при 800 мин$^{-1}$ и погрешность оборудования 0,07 процента.

Разработанная методика реализована в виде программного продукта «Редактор нечетких систем вывода» [6]. Применение данной программы позволяет создавать различные схемы испытания, представляющие собой наборы режимов работы дизеля. Точность управления режимами работы дизеля на основе разработанной математической модели составляет 1,57%, что является допустимым, с точки зрения стандарта [5], предполагающего максимальную погрешность частоты вращения коленчатого вала ±2%. Таким образом, происходит экономия временных и материальных ресурсов для создания нового типа испытаний на основе применения одной и той же базы знаний.

Список литературы

1. *Biktimirov R.L., Valiev R.A., Galiullin L.A., Zubkov E.V., Iljuhin A.N.,* Automated test system of diesel engines based on fuzzy neural network. Research Journal of Applied Sciences, 2014, vol. 9, pp. 1059-1063.

2. *S. Osovskiy,* Neural networks for data processing, Moscow: Finance and statistics, 2002.

3. *Макушин А.А., Зубков Е.В., Гафиятуллин А.А., Илюхин А.Н.* Испытания автотракторных дизелей для создания математических моделей на основе нечеткой логики// Тракторы и сельхозмашины. – 2010. -№8. С.22-25.

4. *Зубков Е.В., Макушин А.А., Бахвалова В.С., Илюхин А.Н.* Управление режимами ДВС с использованием математической модели// Тракторы и сельхозмашины. - 2009 - №8. – С. 21-23.

5. Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Приемка. Методы испытаний ГОСТ Р 53639-2009.; 2011г. – 16с.

6. Редактор нечетких систем вывода: Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2012618433, Российская Федерация / *Р.А.Валиев, Р.М. Зарипов, А.Н. Илюхин*; заявл. 20.07.2012; зарегистр. 17.09.2012

05.13.06

А.Н. Илюхин канд. техн. наук, Ш.Ш. Хузятов канд. техн. наук,
Р.А. Валиев канд. физ.-мат. наук

Казанский федеральный университет, Набережночелнинский институт,
кафедра информационных систем,
Набережные Челны, rustvali@mail.ru

МЕТОДИКА РАЗРАБОТКИ СИСТЕМЫ ДИСПЕТЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ ОБЪЕКТОВ НЕФТЕДОБЫЧИ

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-5-214-216

Предложена методика разработки программного обеспечения для автоматизированных систем управления объектами добычи нефти. Методика основана на единообразии алгоритмов обработки данных датчиков и генерирования управляющих сигналов для исполнительных устройств нефтяного оборудования. В шаблонных проектах нижнего и верхнего уровней определены типы данных, способы их хранения и организация межуровневого обмена, функциональность элементов управления. Использование шаблонных проектов позволяет уменьшить объем выполняемых работ при разработке автоматизированных систем управления технологическими процессами добычи нефти.

Ключевые слова: *автоматизированная система управления, шаблонное проектирование, диспетчерское управление, нефтяное оборудование.*

При автоматизации объектов нефтедобычи применяется большое количество датчиков и исполнительных устройств, данные от которых используются в программных обеспечениях как нижнего, так и верхнего уровня автоматизированных систем управления технологическим процессом (АСУ ТП) [1, 2]. Во многих объектах нефтедобычи алгоритмы обработки данных датчиков и генерирования управляющих сигналов для исполнительных устройств одинаковы. С точки зрения автоматизации характерным для этих объектов является их отличие друг от друга по количеству исполнительных устройств и датчиков [3, 4].

Это делает целесообразным применение методики, которая позволяет предопределить структуру и функциональность программных обеспечений нижнего и верхнего уровней. Согласно этой методике, в качестве элементов нижнего иерархического уровня предложено принять однотипные объекты проекта, такие как насосы, задвижки, счетчики газа и жидкости, аналоговые сигналы, которые имеют одинаковые алгоритмы обработки данных и генерирования управляющих сигналов. Для этих однотипных объектов определены типы данных, способы их хранения и организация межуровневого обмена, функциональность элементов управления [5 – 7]. Предлагаемая методика реализована в виде шаблонных проектов в системах Step 7 и WinCC фирмы Siemens.

Для каждого типа датчика или исполнительного устройства созданы структурные типы данных. Кроме входных и выходных данных, поля этих структурных типов включают параметры, которые используются для реализации алгоритмов как генерирования управляющих сигналов, так и обработки данных.

Хранение данных однотипных исполнительных устройств и датчиков в шаблонном проекте нижнего уровня осуществлено в блоке данных. Он является массивом объектов структурного типа. За счет применения блока данных организация обмена между программными обеспечениями верхнего и нижнего уровней значительно упрощена. Это обеспечивает возможность обмена блоками данных между системами нижнего и верхнего уровней.

Функциональность однотипных объектов шаблонных проектов включает автоматическое управление технологическим оборудованием, сигнализацию при отклонении технологических показателей за определенные границы, мониторинг и диспетчерское управление оборудованием.

В шаблонном проекте нижнего уровня генерирование управляющих сигналов, а также обработка данных однотипных исполнительных устройств и датчиков выполнены с использованием соответствующих массивов, созданных в проекте. Алгоритм обработки данных для группы однотипных объектов осуществлен в виде функционального блока или функции, которые вызываются в организационном блоке циклических прерываний. При этом частота вызова этого блока должна удовлетворять требованиям времени отклика на происходящие изменения в объектах нефтедобычи, что устанавливается при настройке параметров контроллера.

В шаблонном проекте верхнего уровня реализована функциональность для мониторинга и диспетчерского управления технологическим процессом, а также для настройки параметров оборудования во время пуско-наладочных работ, архивирования тегов, аварийных сообщений и формирования отчетов. Программное обеспечение верхнего уровня является иерархической системой, состоящей из основного экрана процесса (экрана объектов) и подчиненных экранов процесса (экранов состояний).

Экран объектов содержит графические объекты типовых датчиков и исполнительных устройств, например, аналоговых сигналов, задвижек, насосов (рисунок 1). На основе этих графических объектов создается мнемосхема технологического процесса, где отображаются все объекты системы управления и их основные характеристики.

Для каждого типа датчика или исполнительного устройства экрана объекта созданы подчиненные им экраны процесса – экраны состояний, которые отображают значения входных и выходных сигналов объекта в режиме реального времени, тренды изменения сигналов и аварийные сообщения. Экран состояний также позволяет осуществить настройку параметров выбранного объекта в процессе пуско-наладочных работ, диагностирование технологического процесса и диспетчерское управление [8].

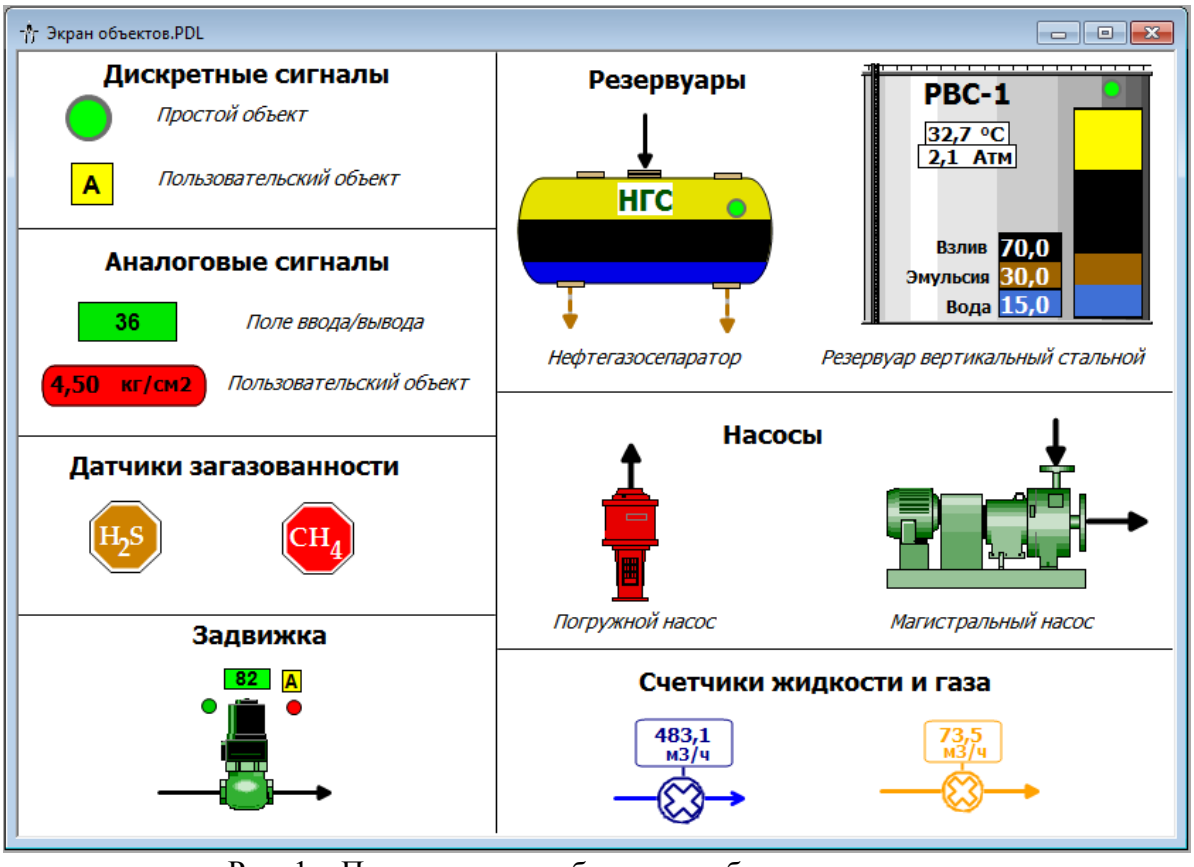


Рис .1 – Пример экрана объектов шаблонного проекта

Команды пользовательского меню шаблонного проекта позволяет отображать тренды основных технологических параметров, формировать отчеты в виде Excel-документов и диагностировать состояние оборудования. Для решения новых задач мониторинга и анализа состояния технологического процесса можно расширить и совершенствовать функциональность шаблонного проекта верхнего уровня за счет создания новых команд пользовательского меню.

Разработанная методика значительно упрощает процесс проектирования программного обеспечения автоматизированных систем управления технологическими процессами при большом количестве однотипных элементов автоматизации.

Шаблонное проектирование показало свою эффективность при разработке программного обеспечения АСУ ТП для различных объектов нефтедобычи (в настоящее время широко применяется в ООО «Нефтяные технологии»). При этом значительно снижается стоимость проекта за счет сокращения времени разработки и внедрения, а также использования менее квалифицированного труда разработчиков программного обеспечения.

Список литературы

1. *Ibragimov N.G., Zabbarov R.G., Idiatova V.R.* Operational supervision and oil production control system based on monitoring of telemetry-controlled well performance in ARMITS corporate information system // Neftyanoe khozyaystvo – Oil Industry, 2014. – Iss. 4. – pp. 106-109.

2. *Sitdikov I.M., Farkhetdinov R.S., Jakupov F.A.* Building automation systems using the principle of partitioning functions // Sovremennye tehnologii avtomatizatsii, 2011. – Iss. 1. – pp. 54-59.

3. *Firoozshahi A.* Intelligent and innovative monitoring of LAR GE tank farm based on DCS // Proc. ICACIT, 2010. – pp. 203-210.

4. *Butta R.* An overview of oil drilling and production monitoring system using SCADA automation in Oiland Natural Gas Corporation Ltd. // International Conference on Electrical, Electronics, Signals, Communication and Optimization, EESCO 2015, September 2015. – A.n. 7253920.

5. *Хузятов Ш.Ш., Валиев Р.А.* Проектирование автоматизированных систем управления на основе методики паттерна // Научно-технический вестник Поволжья. – 2015. – N 2. – С. 215–218.

6. *Valiev R.A., Khuzyatov Sh.Sh.* Pattern-design software of automated control systems. 2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2016 – Proceedings. URL: http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7910942&isnumber=7910885.

7. *Khuzyatov S.S., Valiev R.A.* Organization of data exchange through the Modbus network between the SIMATIC S7 PLC and field devices // 2017 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2017 – Proceedings. – 2017. – A.N. 8076369.

8. *Reeser J., Jankowski T., Kemper G.M.* Maintaining HMI and SCADA systems through computer virtualization // IEEE Transaction on Industry Application, 2015. –V. 51. – Is. 3. – P. 2558-2564.

05.13.00

В.П. Казанцев д-р. техн. наук, Д.А. Даденков канд. техн. наук, Е.О. Копылов

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
электротехнический факультет, кафедра микропроцессорных средств автоматизации,
Пермь, dadenkov@msa.pstu.ru

МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА СЕТОЧНОЙ ЧАСТИ БУМАГОДЕЛАТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-5-217-219

В работе рассмотрены результаты проведения модернизации системы управления электропривода сеточной части бумагоделательной машины. Определены основные требования к автоматизированному электроприводу и описаны функции модернизированной системы. Представлена структурная схема автоматизированной системы управления электроприводом сеточной части.

Ключевые слова: *бумагоделательная машина, сеточная часть, электропривод, система управления.*

Основной и наиболее ответственной частью бумагоделательной машины (БДМ) является сеточная часть. На ней производится отлив и формование полотна, и именно здесь закладываются будущие свойства бумажного полотна [1, 2]. При этом существенное влияние на физико-механические свойства и характеристики полотна оказывают алгоритмы управления приводами сеток и настройка электромеханической системы (ЭМСУ) сеточной части, которые позволяют обеспечить минимальный разброс отклонений скоростей сеток и показателей качества от заданных значений.

Сеточная часть бумагоделательной машины Б-2300 состоит из двух сеток − верхней и нижней (основной). Машины с двусторонним обезвоживанием позволяют производить бумагу и картон более широкого ассортимента, причем со скоростью, недостижимой на столовых бумагоделательных машинах [1]. Кроме того, они занимают меньшие площади, менее энергоемки, позволяют получать полотно лучшего качества и относительно малочувствительны к отклонению технологических параметров.

В связи с повышенными требованиями к точности следящего управления и плавности регулирования скоростей сеток многодвигательный электропривод БДМ выполнен полностью на базе электродвигателей постоянного тока с индивидуальными тиристорными преобразователями. Скорости сеток регулируются изменением якорного напряжения двигателей при неизменном потоке возбуждения, что позволяет также регулировать натяжение сеточного полотна и распределение нагрузок между приводами.

Скоростные режимы сеточной части машины и связанные с ними процессы формования бумажного полотна зависят от довольно большого числа факторов, основными из которых являются [1, 2]:

– механические параметры сеточных валов и передач (упругости, зазоры, моменты инерции);

– моменты сопротивления на валах приводов сеток и характер их изменения;

– качественные показатели и концентрация выливаемой на сетку массы;

– параметры ЭМСУ (быстродействие и точность следящего управления;

– электрических параметров силовой сети переменного тока (напряжение, частота).

Все перечисленные факторы довольно тесно связаны, и поэтому БДМ вместе с системой электроприводов представляет собой единый сложный электромеханический объект автоматизации, в котором установившиеся и переходные процессы в электрической и механической частях при действии различных возмущений оказывают влияние друг на друга и на вырабатываемую продукцию.

Анализ различных систем производства бумаги, опыт эксплуатации БДМ и уровень изученности их технологических процессов позволяют определить ряд требований, предъявляемых к автоматизированному электроприводу сеточной части, среди которых можно выделить [3, 4]:

− обеспечение возможности изменения рабочих скоростей сеток для изготовления различных сортов бумаги с ограничением на допустимых уровнях фазовых переменных электроприводов сеток (скоростей, ускорений и рывков);

− быстродействие и точность формирования и поддержания заданных рабочих скоростей сеток при изменении заданной производительности технологического процесса производства бумаги с ограничением на допустимых уровнях фазовых переменных электроприводов сеток (скоростей, ускорений и рывков);

− обеспечение вспомогательной скорости для пуско-наладочных режимов;

− стабилизация требуемого натяжения бумажного полотна за счет реализации следящего управления электроприводами;

− обеспечение оперативной коррекция угловых скоростей электродвигателей для устранения недопустимого рассогласования линейных скоростей верхней и нижней сеток.

Современный уровень развития систем автоматизации технологических процессов предполагает наличие многофункционального и удобного «человеко-машинного» интерфейса. Поэтому была поставлена задача модернизации системы операторского управления, мониторинга состояния, контроля готовности к работе и диагностирования многодвигательного электропривода БДМ.

Согласно поставленным требованиям была выполнена разработка и внедрение автоматизированной системы управления электроприводом сеточной части БДМ, реализующая следующие функции:

− следящее управление электроприводом сеточной части БДМ с применением программируемого логического контроллера (ПЛК) *Siemens Simatic S7-300;*

− сбор и обработка информации с датчиков координат электропривода с использованием ПЛК *Simatic S7-300*;

− мониторинг, хранение и архивирование информации о контролируемой системе;

− визуальное предоставление информации в виде таблиц и трендов;

− регистрация аварийных и предупредительных сигналов с оповещением персонала о возникновении аварийных событий в системе электропривода.

Управляющий контроллер БДМ связан для обмена данными с преобразователями *Simoreg DC Master* по промышленной шине PROFIBUS.

Информационным шлюзом для обмена данных для связи со станцией пульта оператора (*SCADA*-системой) является головной контроллер БДМ. Для обмена данными между *SCADA*-системой и ПЛК *S7-400* используется промышленная сеть *Industrial Ethernet*.

В процессе модернизации АСУТП согласно разработанному алгоритму выполнен синтез регуляторов состояния [5, 6] локальных электроприводов верхней и нижней сеток (ЭП ВС, ЭП НС), программирование и настройка контроллера ЭМСУ и электроприводов. В соответствие с разработанными алгоритмами реализованы программный модуль адаптивной эталонной модели (АЭМ) [7] для формирования задающих воздействий следящих электроприводов сеток с реализацией ограничений ФП (ускорений и рывков сеток) на заданных уровнях и модули управления следящими ЭП сеток.

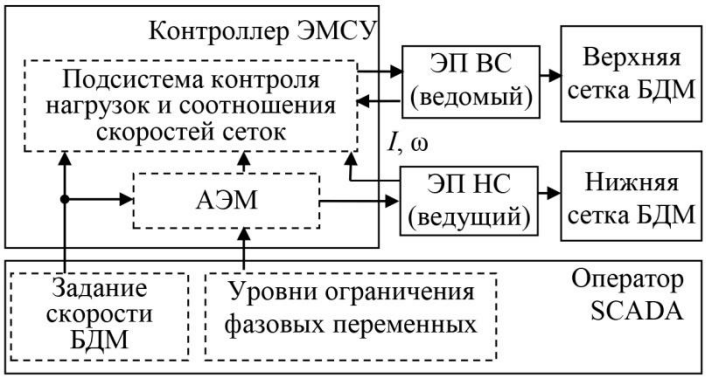


Рис. 1 − Структура АСУТП сеточной части БДМ

Контроллер ЭМСУ сеточной части реализует следующие функции сбора данных и следящего управления:

− прием и первичную обработку данных с датчиков координат электропривода;

− осуществляет необходимые режимные операции для пуска и останова электроприводов сеточной части с подачей необходимых сигналов звуковой сигнализации;

− организует подсистему контроля натяжения и соотношения скоростей сеток бумажного полотна;

− осуществляет формирование задания и регулирование угловой скорости электроприводов с учетом ограничения фазовых переменных (ускорений и рывков) при изменении оператором линейной скорости БДМ (модуль АЭМ);

Модернизация АСУТП сеточной части БДМ с использованием разработанных алгоритмов синтеза и программных средств для настройки систем цифрового следящего управления электроприводами в результате позволила:

1. Повысить на 10-12 % точность формирования задания скоростей электроприводов сеток, что привело к снижению на 2-5 % среднеквадратических отклонений от заданных значений наиболее значимых физико-механических показателей качества бумажного.

2. Оптимизировать формирование и ограничение на допустимых уровнях фазовых переменных электроприводов сеточной части (скоростей, ускорений и рывков), за счет применения семейства синтезированных адаптивных эталонных моделей, что способствует увеличению срока службы сеток за счет ограничения, прежде всего, рывков сеток при пуске, останове и изменениях заданий скоростей электроприводов.

3. Сократить время на подготовку и проведение наладки микропроцессорных следящих систем электроприводов сеток за счет автоматизации процедуры синтеза.

Список литературы

1. *Смолин, А.С.* Технология формования бумаги и картона. – М.: Лесная промышленность, 1984.

2. *Иванов С.Н.* Технология бумаги. − М.: Школа бумаги, 2006.

3. *Барышников В.Д.* Автоматизированные электроприводы машин бумагоделательного производства. − Л.: Энергоиздат, Ленинградское отделение, 1982.

4. *Шестаков В.М.* Системы электропривода бумагоделательного производства. − М.: Лесная промышленность, 1989.

5. *Даденков Д.А., Казанцев В.П.* О синтезе пассивно-адаптивных систем управления электроприводом. // Электротехника. − 2015. − № 11.

6. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2013660457. Программный комплекс «Синтез и анализ цифровых систем управления» («Sintez&Analiz») / *В.П. Казанцев, А.Б. Петроченков, Д.А. Даденков.* Заявка №2013616220 от 18.07.13; зарегистр. в реестре программ для ЭВМ 06.11.2013.

7. *Даденков Д.А, Казанцев В.П.* Синтез электромеханических систем управления с нелинейной адаптивной эталонной моделью // Фундаментальные исследования. − 2014. − № 11–7.

05.13.00

А.Д. Кирьянов, А.Н. Лыков канд. техн. наук

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, электротехнический факультет,
кафедра микропроцессорных средств автоматизации,
Пермь, alex210195@rambler.ru, lykov45@yandex.ru

ПРИМЕНЕНИЕ СТАНДАРТА МЭК 61850 В СИСТЕМЕ СБОРА И ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-5-220-222

Настоящая статья посвящена исследованию целесообразности применения стандарта МЭК 61850 «Коммуникационные сети и системы подстанций» на примере типовой подстанции. Оборудование релейной защиты и автоматики выбрано на основе рекомендаций по импортозамещению, а также исходя из совместимости данного оборудования со стандартом МЭК 61850.

Ключевые слова: *стандарт, МЭК 61850, протокол.*

МЭК 61850 как набор стандартов цифровой подстанции развивается и активно поддерживается производителями устройств релейной защиты, автоматики, телемеханики, измерительных устройств. Поддержка протокола передачи данных согласно МЭК 61850 все чаще прописывается в технических требованиях при строительстве новых или модернизации существующих подстанций. Тем не менее, широкому внедрению препятствует ряд факторов: новизна технологии, малое число проектов с его реализацией и, самое главное, стоимость решений.[1]

Цель серии стандартов МЭК 61850 заключается в обеспечении взаимодействия между функциями, выполняемыми на подстанции, но резидентно находящимися на оборудовании (в физических устройствах) от различных поставщиков. Функциями взаимодействия могут быть те функции, которые представляют интерфейсы для технологических функций (например, выключатель) или функций автоматизации подстанций, таких как функции защиты.

Большая часть дискретных сигналов, передаваемых между устройствами РЗиА, прямо влияет на скорость ликвидации аварийного режима, поэтому передача сигнала осуществляется при помощи протокола МЭК 61850-8.2 (GOOSE), который отличается высоким быстродействием. Время передачи одного пакета данных GOOSE сообщения не превышает 0,001 секунды.

Передача измерений и дискретных сигналов в БД подстанции производится по протоколу MMS (с использованием сервисов буферизированных и небуферизированных отчетов). Протокол MMS характеризуется компактностью передаваемой информации[2]. Это снижает нагрузку на информационные сети.

На данный момент внедрение стандарта МЭК 61850 на российский подстанциях 6 – 10 кВ затруднительно даже из-за отсутствия в России описания разделов стандарта, необходимых для внедрения на подстанции данного номинала. Например, документ «IEC/TS 61850-80-1 ред. 1.0 Руководство по передаче информации из модели общих классов данных с использованием МЭК 60870-5-101 или МЭК 60870-5-104» не отражён в официальных документах РФ.

Однако для сетей 35 кВ и выше МЭК 61850 целесообразен в применении. Для примера внедрения стандарта МЭК 61850 рассмотрим типовую подстанцию 35 кВ (рис. 1).

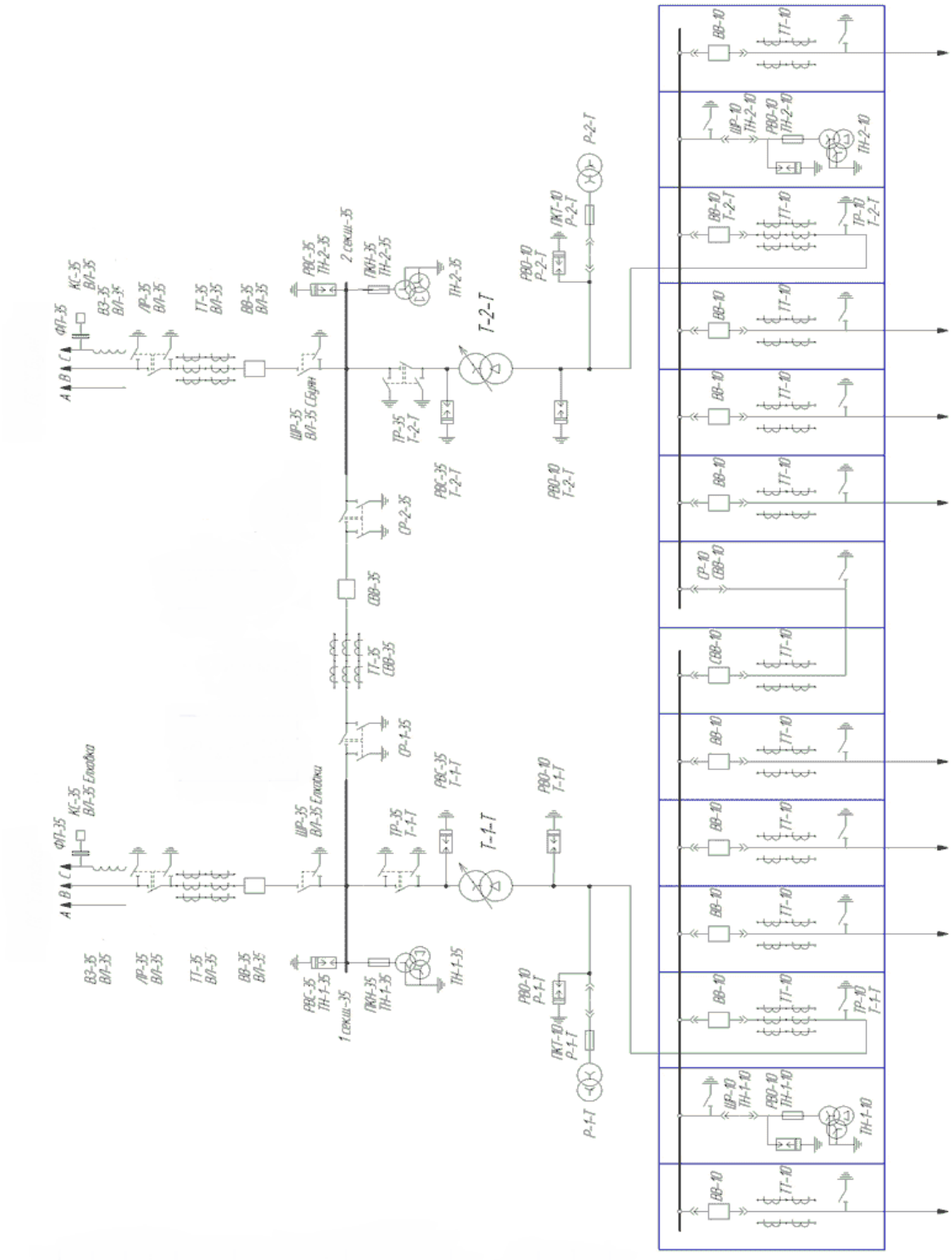


Рисунок 1 - Схема типовой подстанции 35 кВ

На уровне процесса обычно реализуют измерения при помощи объединяющих устройств (Merging Unit), которые преобразуют информацию с традиционных или цифровых трансформаторов тока инапряжения по протоколу SampledValuesи передают ее на уровень присоединения.

На данный момент существуют отечественные оптические трансформаторысцифровым выходом, позволяющие исключить медные подключения во вторичных цепях. Однако такие трансформаторы на данный момент в России редкое и, следовательно, дорогое удовольствие. Хотя в перспективном будущем они будут широко распространены, на сегодня следует ориентироваться на аналоговые входы для MUв сетях 35/6 кВ.

Для построения системы сбора и передачи информации потребуется выбрать топологию сети. В данном случае это будет топология – кольцо, потому что при разрыве кольца сеть может работать по топологии общей шины. Все интеллектуальные устройства (IED) должны быть присоединены к коммутаторам, которые будут соединены друг с другом. Также предусмотрено резервирование линий передачи данных. Выбор коммутаторов будет зависеть от того, сколько IED будут к ним присоединены. Коммутатор должен соответствовать условиям импортозамещения и поддерживать стандарт МЭК 61850. Каждое IEDсоединяется с основным и резервным коммутатором, что позволяет задействовать резервный коммутатор, при выходе из строя основного.[3]

Также очень важно выбрать контроллер присоединения, который будет отвечать за сбор, обработку и передачу информации о состоянии коммуникационного оборудования на подстанции. Компания «ЭнергопромАвтоматизация» занимается производством таких контроллеров присоединения (NPTBAY), отвечающих требованиям стандарта МЭК 61850.

Создание системы сбора и передачи информации рассматривается на базе двух станционных контроллеров (основного и резервного) для опроса оборудования по интерфейсу Ethernet и протоколам MMSи Goose. Резервный контроллер находится в состоянии горячего резерва: начинает опрашивать периферийные устройства системы при исчезновении на интерфейсной шине сигналов опроса, инициируемых основным контроллером.

Вся информация о состоянии подстанции будет отправлять в диспетчерский центр. Существует несколько способов передачи информации. Самые распространенные из них: ВОЛС (волоконно-оптическая линия связи, ВЧ связь, радиосвязь. В большинстве случаев при небольшом расстоянии между подстанцией и диспетчерским центром выбирают ВОЛС как основную линию связи и ВЧ – как резервную. Остальные способы являются необходимыми при больших расстояниях (более 30 км). На построение линии связи с использованием радиооборудования очень влияет рельеф местности, через которую должен проходить радиопрофиль. Хоть такой способ и является не эффективным, однако он очень распространен на территории России.

Построение цифровой подстанции на основе стандарта МЭК 61850 имеет очень много преимуществ и перспектив.

- Уменьшается количество кабельных связей, что очень удешевляет проект подстанции;
- Повышается точность измерений;
- Очень упрощается проектирование таких систем, их построение и обслуживание;
- Удаленный мониторинг оборудования подстанции исключает человеческий фактор;
- Стандарт МЭК 61850 позволяет совмещать оборудование от разным производителей, что очень удобно при проектировании таких систем.

Вывод: Система сбора и передачи информации по стандарту МЭК 61850, построенная на импортозамещающем оборудовании – возможна. На данный момент большинство российских производителей выпускают оборудование отвечающее требованиям этого стандарта. Это также влечет то, что большинство подстанций начинают переводить на оборудование российского производства. Цифровая подстанция является необходимым условием для построения интеллектуальных сетей [4].

Список литературы

1. ГОСТ Р МЭК 61850-5 — 2011. Сети и системы связи на подстанциях. – Москва: Изд-во стандартов, 2011. – 120 с.

2. Техническое консультирование [Электронный ресурс] // сайт. — URL: http://cons-systems.ru/m-k-61850 (дата обращения 14.04.2017).

3. Ethernet & МЭК 61850 Общие понятия, реализация, ввод в эксплуатацию [Электронный ресурс]// — URL: http://w5.siemens.com/web/ua/ru/em/Automation,_control_and_protection/energy_networks_control_systems_/Documents/file_16_1.pdf (дата обращения 16.03.2018).

4. *Лыков А.Н.* SmartGrid – Проблемы и перспективы // Энергетика. Инновационные направления в энергетике. CALS-технологии в энергетике: материалы 8-й Международной науч.-техн. интернет-конф., г. Пермь, 1–30 ноября 2014 г. – Пермь, 2014.

05.13.10

А.А. Кольчурин, А.В. Трусов д-р техн. наук, В.А. Трусов канд. техн. наук

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
электротехнический факультет, кафедра микропроцессорных средств автоматизации,
Пермь, tav@permcnti.ru, colchurin@yandex.ru

ПОДХОДЫ И МЕХАНИЗМЫ ФОРМИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ НАУЧНОГО И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ ТЭК

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-5-223-225

В работе рассматриваются основные подходы и механизмы формирования системы информационной поддержки научного и технологического развития отраслей ТЭК. Разработана структура системы. Предложены основные механизмы системы информационной поддержки.

Ключевые слова: *информационная поддержка, научно-технологическое развитие ТЭК, инновационные технологии, научно-техническая информация, база данных.*

Исследование информационных и организационных процессов инновационной деятельности отраслей топливно-энергетического комплекса показало, что функционирование информационных систем и процессов поддержки инновационного развития должно рассматриваться в виде сложной информационно-инновационной системы, включающей в свой состав множество субъектов инновационной деятельности, информационных ресурсов, информационных, организационных и управленческих процессов, с множеством взаимосвязей между ними, нацеленных на: разработку сценариев и прогнозов научного и технологического развития.

В настоящий момент времени основными информационными ресурсами информационной поддержки развития топливно-энергетического комплекса являются:

1. Сведения об инновационных разработках в сфере промышленности, сельского и лесного хозяйства, строительства, транспорта, связи, медицины, информационно-телекоммуникационных систем, добычи и переработки полезных ископаемых, экологической безопасности, энергосбережения и другим направлениям, ориентированным на критические технологии, технологический уклад и технологии двойного назначения, национальные проекты и приоритетные направления развития науки и техники РФ – база данных «Промышленные инновации».
2. Данные о предприятиях и организациях, производящих продукцию и предоставляющих услуги – база данных «Производители и потребители энергетических ресурсов России».
3. Информация о социально-экономических, производственных, инвестиционных, инновационных, топливно-энергетических, маркетинговых и других процессах, происходящих на региональном уровне – база данных «Информационная карта промышленности и энергетики регионов России».
4. Данные об инвестиционных проектах топливно-энергетического комплекса в Российской Федерации база данных «Инвестиционные проекты ТЭК».
5. Информация о типовых проектах энергосбережения в Российской Федерации – база данных «Типовые проекты энергосбережения».
6. Информация по энергосбережению и передовом опыте эффективного использования энергетических ресурсов предприятиями производится по вопросам промышленности, сельского и лесного хозяйства, строительства, транспорта, жилищно-коммунального хозяйства, защиты окружающей среды и экологических проблем – база данных «Энергосбережение России».
7. Материалы региональных средств массовой информации – база данных «Средства массовой информации».

Коммуникативным ядром, посредством которого осуществляться весь комплекс работ по информационной поддержке научного и технологического развития отраслей ТЭК является информационно-инновационная система (рисунок 2), в качестве транспортного уровня использующая глобальную сеть интернет[1].

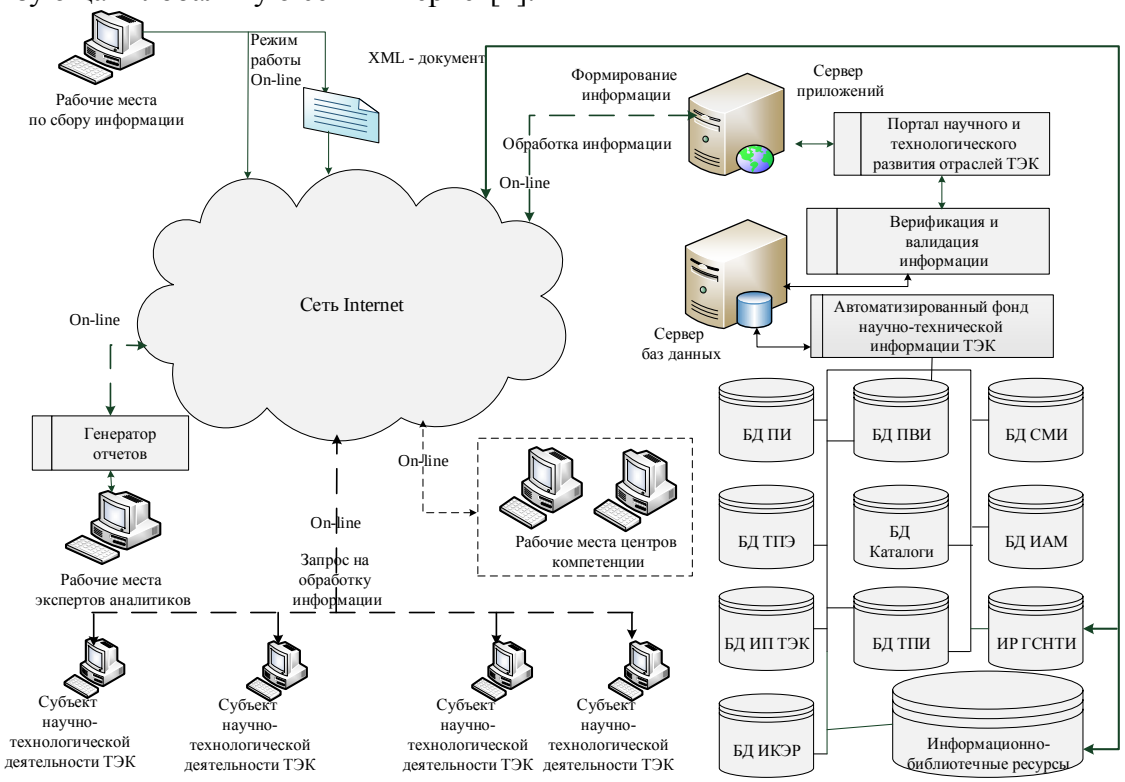


Рис.1 – Структурная схема информационно-инновационной сети научного и технологического развития ТЭК

В рамках предлагаемой системы формируется интегрированное хранилище данных, включающего в свой состав множество специализированных баз данных описывающих научно-техническое развитие субъектов инновационной деятельности, обеспечивающего возможность проведения широкого спектра информационно-аналитических работ. Структура баз данных позволяет в полной мере осуществлять сбор информации по направлениям внедрения инновационных технологий и современных материалов в отраслях топливно-энергетического комплекса, позволяет обеспечивать субъектов научного и технологического развития ТЭК необходимой аналитической информацией.

Причем сбор всей необходимой информации по направлениям внедрения инновационных технологий и современных материалов в отраслях топливно-энергетического комплекса можно осуществлять на всех этапах жизненного цикла, начиная от идеи и заканчивая серийным выпуском необходимой продукции.

К основным механизмам предлагаемой системы следует отнести:

1. Мониторинг регионального социально-экономического пространства, возможностей предприятий, научных организаций, высших и средних учебных заведений в области создания и выпуска инновационной, в том числе импортозамещающей продукции для нужд предприятий ТЭК.

2. Мониторинг потребностей предприятий ТЭК в оборудовании, технологиях, приборах, системах и т.п.

3. Формирование реестра потребностей предприятий ТЭК в инновационных, в том числе импортозамещающих технологиях.

4. Формирование реестра промышленных предприятий, научных организаций, высших и средних учебных заведений, работающих в области создания и выпуска инновационной, в том числе импортозамещающей продукции для нужд предприятий ТЭК.

5. Формирование баз данных, характеризующих инновационное развитие ТЭК и

промышленности, в том числе описывающих импортозамещающую продукцию для нужд предприятий ТЭК, от идеи до инвестиционного проекта.

6. Анализ ситуации в инновационной, технологической сферах, в том числе импортозамещения для предприятий ТЭК в разрезе регионов России.

7. Прогноз ситуации и тенденций инновационного и технологического развития, в том числе и импортозамещения для предприятий ТЭК в разрезе регионов.

8. Проведение консультационных семинаров с предприятиями, научными организациями и вузами работающих в области инновационного развития и импортозамещения для предприятий ТЭК.

9. Информационное обеспечение субъектов, работающих в области инновационной деятельности, в том числе импортозамещения для предприятий ТЭК, научно-технической и специальной информацией.

10. Сопровождение процессов коммерциализации и трансфера технологий результатов инновационной деятельности (идей, результатов НИР и ОКР, объектов интеллектуальной собственности).

12. Выявление межотраслевых, регионально-кластерных, отраслевых, а также продуктовых «цепочек роста» добавленной стоимости и технологического развития в разработке и производству импортозамещающего оборудования, приборов и систем для ТЭК в регионах Российской Федерации.

На основе формируемого массива информации можно проводить следующие информационно-аналитические работы [2, 3]:

1. Анализ ситуации импортозамещения для предприятий ТЭК в региональном разрезе;

2. Прогноз по ситуации импортозамещения для предприятий ТЭК на ближнесрочный период в региональном разрезе;

3. Анализ и прогноз инновационных заделов по импортозамещению для предприятий ТЭК в региональном разрезе;

4. Оценка инновационного и промышленного потенциала регионов, оценка ситуации на региональных рынках ТЭК;

5. Оценка инвестиционных проектов по импортозамещению для предприятий ТЭК (региональные, муниципальные, ЧГП) в региональном разрезе;

6. Аналитические справки по экспертным оценкам и мнениям по вопросам импортозамещения для ТЭК в региональном разрезе.

7. и другие.

Создание системы позволяет:

1. Обеспечить субъекты научного и технологического развития ТЭК необходимой (оперативной, достоверной, независимой, интегрированной, аналитической) информацией в целях подготовки и принятия различного рода управленческих решений в сфере инновационного и промышленного развития;

2. Повысить качество и оперативность обеспечения субъектов научно-технической деятельности информационно-аналитической информацией, в том числе прогнозной информацией исходя из тенденций мирового развития.

Список литературы

1. *Трусов А.В., Трусов В.А.* Система информационно-аналитической поддержки научно-технологического развития отраслей топливно-энергетического комплекса // Научно-практический журнал /Информационные ресурсы России. -2017. №3(157). с.2-5.

2. *Трусов А.В., Трусов В.А.* Формирование единого информационного пространства научного и технологического прогресса развития отраслей ТЭК // Международный научный журнал «Информация и инновации» /Сборник трудов конференции «Наукометрия и Библиометрия» 21-22 сентября 2017 года, г.Москва. Специальный выпуск.-МЦНТИ Москва,-2017.–с.123-126.

3. *Трусов В.А.* Механизмы реализации системы информационно-аналитической поддержки научно-технологического развития отраслей ТЭК // Информационные ресурсы России. 2017. № 4 (158). С. 2-5.

05.13.06

А.Д. Курзанов, Ю.А. Русских

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
кафедра Строительного инжиниринга и материаловедения,
Пермь, kurzanov_sm_st@mail.ru

АЛГОРИТМЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ПОДДЕРЖКИ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ ПРОИЗВОДСТВА НЕАВТОКЛАВНОГО ГАЗОБЕТОНА

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-5-226-228

В статье представлены алгоритмы интеллектуальной поддержки принятия решений при управлении технологическим процессом производства неавтоклавного газобетона в условиях нестабильного качества сырья. Интеллектуальная поддержка основана на взаимодействии технологии экспертных систем и метода формального поиска оптимума. Комплексное использование двух методов позволяет достичь синергетического эффекта, что проявляется в снижении количества экспериментальных замесов, требуемых для оптимизации параметров технологического процесса.

Ключевые слова: *неавтоклавный газобетон, технологический процесс производства, интеллектуальная система, алгоритм, экспертная система, метод Нелдера-Мида.*

Обеспечение требуемого качества изделий из неавтоклавного газобетона (НГБ), выпускаемого по литьевой технологии, - сложная научно-техническая задача [1]. Снижению качества изделий способствуют различного рода возмущения, воздействующие на технологический процесс производства (ТПП).

Проблема усугубляется применением сырья нестабильного качества, характеристики которого изменяются плавно (в рамках одной партии), либо резко, например, при переходе к другой партии какого-либо сырьевого компонента или при смене поставщика. В таком случае обеспечение требуемого качества изделий осуществляется за счет изменения соответствующих рецептурно-технологических параметров (РТП) производства.

Очевидно, что в условиях промышленного производства изделий из НГБ качество управленческих решений (УР), касающихся изменения значений РТП, напрямую влияет на качество продукции, которое при условии «неправильных» УР падает вплоть до недопустимого уровня (брак). УР принимаются технологами или операторами на основе оценки текущего состояния ТПП. Такой подход к формированию управленческих решений имеет существенные недостатки, описанные в [2].

Ранее авторами настоящей статьи предложен системный подход к оптимизации ТПП НГБ в условиях нестабильного качества сырья [3], основанный на взаимодействии двух методов поиска: технологии экспертных систем (ЭС) и формального метода поиска экстремума, в качестве которого предложено использовать метод Нелдера-Мида [4]. Как известно [5], экспертные системы – класс интеллектуальных систем, работа которых основана на применении формализованных знаний экспертов, представленных, к примеру, в виде продукций [6]. В данном применении по назначению ЭС является планирующей, позволяющей формировать планы действий по выходу из неблагоприятной ситуации.

Для реализации предлагаемого подхода были разработаны алгоритмы интеллектуальной поддержки принятия решений при управлении процессом производства НГБ в условиях нестабильного качества сырья. Взаимодействие экспертной системы и метода Нелдера-Мида обеспечивается алгоритмом, который позволяет, во-первых, определить стратегию поиска оптимальных значений управляющих воздействий, а во-вторых, на основе выбранной стратегии (т.е. конкретного метода) выполнить расчет новых значений управляющих воздействий (рис. 1).

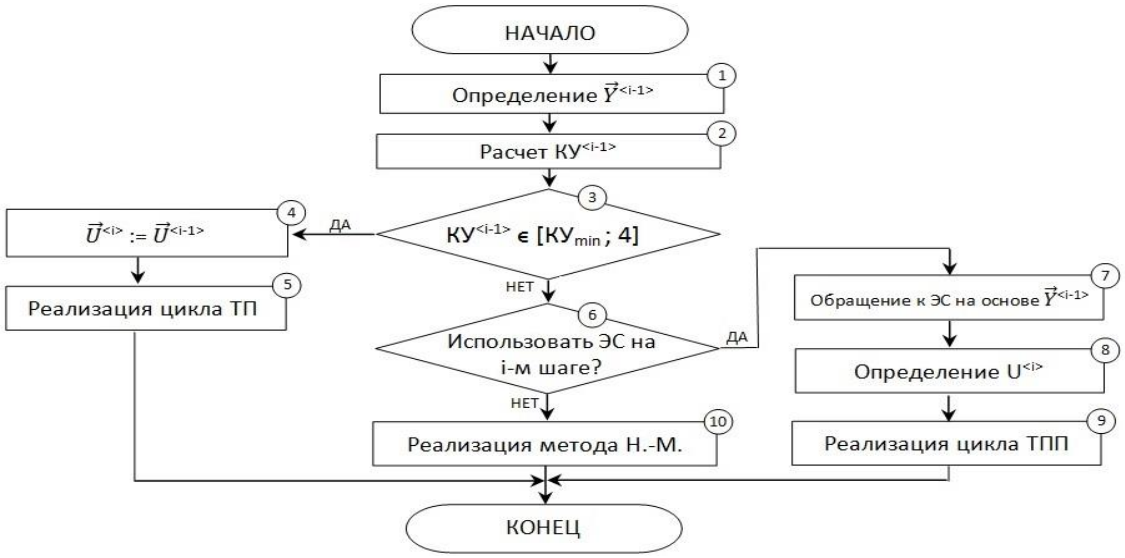


Рис. 1– Блок схема алгоритма взаимодействия экспертной системы и метода Нелдера-Мида (метод Н.-М.)

На первом шаге алгоритма определяются выходные параметры выполненного цикла ТПП $Y^{<i-1>}$ (1), рассчитывается значение критерия управления [7] КУ$^{<i-1>}$ (2). Далее уточняется необходимость изменения значений управляющих параметров на следующем цикле производства (3). Если такая необходимость отсутствует (КУ$^{<i-1>}$ ≥ КУ$_{min}$, где КУ$_{min}$ – минимально допустимое значение критерия управления), система предлагает повторить цикл с использованием предыдущих значений управлений (4, 5). В противном случае необходимы соответствующие изменения управлений. Первоначально в качестве метода выработки управленческих решений предпочтение отдается экспертной системе. При этом в зависимости от критерия управления, полученного в <i-1>-м цикле ТПП, в сравнении со значением КУ в предыдущем <i-2>-м цикле, рекомендация ЭС может считаться успешной или неуспешной. Если значение критерия достигло требуемого диапазона [КУ$_{min}$; 4], либо существенно (более чем на 20 %) к нему приблизилось, тогда работа ЭС признается успешной. Поэтому на следующем этапе работы алгоритма проверяется условие отказа от рекомендаций ЭС (6).

Если предыдущая рекомендация ЭС успешна, выполняется обращение к ней на основе известных $Y^{<i-1>}$ (7), определяются значения управлений U$^{<i>}$ (8), после чего реализуется новый цикл ТПП (9). Если значение КУ существенно не улучшается, либо уменьшается, тогда совет ЭС признается неуспешным. В таком случае дальнейший поиск оптимальных значений управлений осуществляется с помощью метода Нелдера-Мида (10).

При условии отказа от ЭС и переходу к методу Нелдера-Мида предыдущие экспериментальные точки (пусть и неудачные), используются в качестве стартовых при инициализации поисковой процедуры. Разработан алгоритм (рис. 2), на основе которого выполняется переопределение «экспертных» точек в точки стартового симплекса. Первым шагом в работе алгоритма перехода является выбор точек $U_i^{ЭС}$, полученных в результате работы ЭС (1).



Рис. 2– Блок схема алгоритма перехода от ЭС к методу Нелдера-Мида

Определение стартовой точки для расчета других координат симплекса $U_0^S = U_k^{\text{ЭС}}$ осуществляется исходя из условия наименьшего значения КУ в ней (2). Далее необходимо рассчитать координаты правильного симплекса в кодированном (3) и натуральном выражении (4). Следующий шаг работы алгоритма после перехода от кодированных значений параметров к натуральным значениям – замена теоретических точек правильного симплекса U_s^S (s ϵ [2; 6]) на известные точки $U_i^{\text{ЭС}}$, при этом заменяются наиболее близкие точки, тем самым симплекс из правильного преобразуется в неправильный (5). После этого реализуется поиск области допустимых значений целевой функции (6).

Допущение, делающее реализацию рассматриваемого подхода к управлению возможным, состоит в том, что рекомендации по внесению изменений в РТП формируются по результатам одного или нескольких уже закончившихся циклов производства. В то же время корректирующие воздействия на уставки контроллеров, призванные компенсировать факторы снижения качества, будут реализованы только в следующем производственном цикле.

Комплексное использование технологии экспертных систем и метода формального поиска оптимума позволит достичь синергического эффекта, который состоит в следующем. При успешном указании ЭС оптимального решения необходимость применения поисковой процедуры полностью отпадает. В случае если эта задача оказывается нерешенной, и с заданного числа попыток экспертная система не смогла улучшить выходные параметры процесса, то целесообразно перейти к поисковой системе. При этом точки производственных экспериментов, полученные в результате работы ЭС, необходимо использовать в качестве стартовых для поисковой процедуры. Кроме того, применение ЭС зачастую позволяет приблизиться к области оптимального решения, что существенно сокращает количество итераций, затрачиваемых методом формального поиска, в случае его реализации.

Список литературы

1. *Жуков А.Д., Чугунков А.В., Гудков П.К.* Моделирование и оптимизация технологии газобетона / А.Д. Жуков, А.В. Чугунков, П.К. Гудков // Вестник МГСУ. – 2012. - № 4. – С. 155.

2. *Леонтьев С.В., Курзанов А.Д., Радыгин Р.В.* Современные системы автоматизации предприятия по производству ячеистого бетона /С.В. Леонтьев, А.Д. Курзанов, Р.В. Радыгин // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2018. – № 3. – С. 84-92.

3. *Курзанов А.Д., Леонтьев С.В.* Системный подход к оптимизации технологического процесса производства неавтоклавного газобетона / А.Д. Курзанов, С.В. Леонтьев // Прикладная математика и вопросы управления. – 2017. – № 4. – С. 107-117.

4. *Ахназарова С.Л., Кафаров В.В.* Методы оптимизации эксперимента в химической технологии / С.Л. Ахназарова, В.В. Кафаров – М.: Высшая школа, 1985. – 327 с.

5. Экспертные системы. Принципы работы и примеры: Пер. с англ. / под ред. Р. Форсайта – М.: Радио и связь, 1987. – 224 с.

6. *Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф.* Базы знаний интеллектуальных систем. Учебник / Т.А. Гаврилова, В.Ф. Хорошевский – СПб.: Питер, 2004. – 142 с.

7. *Орлов А.А., Леонтьев С.В., Курзанов А.Д.* Экспериментальная оценка эффективности методики оптимизации технологического процесса производства неавтоклавного газобетона / А.А. Орлов, С.В. Леонтьев, А.Д. Курзанов // Прикладная экология. Урбанистика. - 2018.-№1.-С.114-124.

05.13.00

С.Д. Мезенцев, А.Н. Лыков канд. техн. наук

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
электротехнический факультет, кафедра микропроцессорных средств автоматизации,
Пермь, lykov45@yandex.ru

РЕАЛИЗАЦИЯ ЦИФРОВОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПОДСТАНЦИИ НА БАЗЕ ОТЕЧЕСТВЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-5-229-231

Рассмотрены аспекты реализации цифровых электрических подстанций в рамках активно-адаптивных систем электроснабжения. Рассмотрены уровни сбора и передачи данных. Проведен анализ вариантов реализации различных уровней в рамках отечественного производства.

Ключевые слова: *цифровая электрическая подстанция, протокол передачи данных, активно-адаптивная сеть.*

Цифровые электрические подстанции являются ключевым элементом в создании общей активно-адаптивной системы электроснабжения. Актуальность данных технологий демонстрируется официальной политикой развития ПАО «Россети» на срок до 2030 года. Примером реализации цифровых подстанций являются «ПС 110/10 кВ «Имени Сморгунова» находящаяся в составе ПАО «МРСК Сибири», «ПС 35/10 кВ «Бабайка» и другие.

Реализация системы цифровой подстанции основывается на международном стандарте МЭК 61850. Цифровой способ управления включает в себя все функции по мониторингу, защите и противоаварийной автоматике, которые существуют в традиционных подстанциях. При этом на данный момент реализуются лишь подстанции с переходом от традиционных систем к цифровым. Рассмотрим возможность создания проекта полностью цифровой подстанции 35/6 кВна отечественном оборудовании. Примем, что подстанция имеет две секционированные системы шин.

Уровень процесса

Реализацию измерений выполняют при помощи контроллеров с поддержкой MergingUnitв соответствии со стандартами 61850-9-2(LE), преобразующих информацию с традиционных трансформаторов тока и напряжения в цифровой сигнал.

В нашем случае, в качестве измерительных средств примем оптические трансформаторы тока и напряжения, которые характеризуются:

- Однократным преобразованием измеренных данных, что увеличивает точность измеряемых величин;
- Синхронизацией времени между измерительными приборами;
- Невосприимчивость к любым эффектам намагничивания;
- Возможность прямой передачи информации на множество устройств.

При таком решении можно полностью исключить традиционные медные проводники во вторичных цепях. Это полностью убирает эффект потери данных и снижает затраты на прокладку каналов передачи данных.

В качестве измерительных трансформаторов выберем продукцию компании ЗАО «Профотек».

Далее все данные передаются по оптическим каналам связи по протоколу МЭК 61850-9, SampledValuesк устройствам уровня присоединения NPTBAY 9,2.или depRTU.

Сбор данных о положении коммутационных аппаратов осуществляется при помощи выносных модулей microRTU от компании ООО «ЭнергопромАвтоматизация» г. Санкт-Петербург или depRTU от компании ООО «Компания ДЭП» г.Москва.

Все собираемые данные передаются посредством протокола МЭК 61850-8-1(GOOSE) по оптоволоконной связи на вышестоящие уровни.

Уровень присоединения

Основным устройством на данном уровне является контроллер присоединений NPTBAY (9.2) или depRTU, который является многофункциональным устройством, которое обеспечивает сбор и обработку всей информации о состоянии объекта, а также управление коммуникационным оборудованием, поддерживает все функции, необходимые для работы в рамках цифровой подстанции.

Контроллер присоединения позволяет передавать данные по протоколу МЭК 61850-8-1 (MMS) на верхний уровень системы, обмениваться данными с уровнем процесса, а также интегрировать другие устройства, не поддерживающие стандарт МЭК 61850 по последовательным интерфейсам. Контроллеры присоединения на ОПУ в непосредственной близости от коммутационного оборудования.

Важная особенность выбора релейной защиты с позиции цифрвой подстанции – поддержание протоколов уровня процесса (GOOSE) и присоединения (MMS). Выберем терминалы релейной защиты фирмы «ЭКРА», «БМРЗ», «Сириус». Выбранная релейная защита удовлетворяет всем требованиям стандарта МЭК 61850, обеспечивая совместимость с другим выбранным оборудованием и поддержку протоколов GOOSEи MMS.

Для коммерческого учета выбираем цифровой мультифункциональный электрический счетчик*ARIS EM* с приемом данныхсогласно МЭК 61850-9-2*LE*. Присоединение к электросчетчикуосуществляется по оптоволоконной связи как с верхним уровнем станции, так и с нижним уровнем процесса.

Реализация уровня станции

Примем, что ПС не имеет местного дежурного персонала. Диспетчерский пункт находится в диспетчерском центре, который управляет подстанциями и распределительными устройствами города..

Проведя анализ возможных вариантов передачи данных между подстанциями, выбираем оптико-волоконную передачу данных. Расстояние между подстанциями в городской части не велико, поэтому данную подстанцию вполне можно включить в общую сеть.

Альтернативным вариантом включению в общую сеть, может стать подключение через оптико-волоконную сеть одного из городских интернет-провайдеров, что позволит еще больше сократить расходы на проведение каналов связи.

Реализуем возможность передачи данных одновременно подвум каналам: волоконно-оптическому и каналу ВЧ-связи. Дляприема и передачи сигналов и команд используем универсальный приемопередатчик «АВАНТ К400» фирмы «Прософт-системы». Уникальность данного оборудования заключается в возможности одновременного использования мультиплексируемогои волоконно-оптического канала, без использования дополнительного оборудования. Приемопередатчик – «АВАНТ К400», присоединение к которому осуществляется по оптоволоконной связи с шины станции. Подключение к АСУ ТП в соответствии с ГОСТ Р МЭК 60870-5-101, ГОСТ Р МЭК 60870-5-104. Предусмотрен режим передачи команд в соответствии с IEC 61850-8-1 с генерацией сообщений протоколов GOOSE, MMS.

На ПС «ДОК» устанавливается приемопередатчик «АВАНТ К400», на который приходят сигналы с двух разных каналов. Полученные сигналы передаются на два сервера – основнойи резервный, образуя локальную вычислительную сеть (ЛВС). Данные с ЛВС поступают на диспетчерский щит и автоматизированные рабочие места.

Достоинства такой реализации электрической подстанции по технологии «SmartGrid»:

- отечественное оборудование, реализованное на платформе стандартаМЭК 61850;
- значительное сокращение кабельных связей;
- повышение точности измерений, высокая помехозащищенность;
- простота проектирования, эксплуатации, обслуживания, уменьшение эксплуатационных затрат на техническое обслуживание;

– снижение количества модулей ввода/вывода на устройстваАСУ ТП и РЗА, обеспечивающих снижение стоимости устройств;

– постоянный мониторинг, уменьшение человеческогофактора;

– повышение безопасности по вторичным цепям, сокращение возможности появления дефектов типа «земля в сети постоянного тока»;

– высокоскоростной обмен данными микропроцессорных электронных устройств между собой, гарантированная доставка сообщение;

– функциональная совместимость оборудования различных производителей.

Выводы

Отечественный производитель может обеспечить строительство полностью цифровых подстанции на базе стандарта МЭК 61850, что говорит о своевременности развития технологий и решений в области цифровых подстанций и активно-адаптивных сетей. Вся продукция, описанная в данной статье сертифицирована по стандарту МЭК 61850.

Список литературы

1. Каталоги продукции электротехнических фирм: ООО НПП «ЭКРА» (Чебоксары), ООО ИЦ и НПП «Бреслер» (Чебоксары), ЗАО «Радиус-Автоматика» (Зеленоград), ООО «НТЦ Механотроника» (Санкт-Петербург), ЗАО «Энергомашвин» (Москва) и другие. // Доступ из справ. – правов. Системы «Консультант Плюс».

2. *Лыков А.Н.* SmartGrid – Проблемы и перспективы // Энергетика. Инновационные направления в энергетике. CALS-технологии в энергетике: материалы 8-й Международной науч.-техн. интернет-конф., г. Пермь, 1–30 ноября 2014 г. – Пермь, 2014.

05.13.00

В.А. Меньшенин, А.Н. Лыков канд. техн. наук

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, электротехнический факультет,
кафедра микропроцессорных средств автоматизации,
Пермь, vladimir.menschenin@yandex.ru, lykov45@yandex.ru

АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМОЙ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-5-232-235

В работе рассмотрены алгоритмы управления системой кондиционирования воздуха. Описаны принципы работы контура циркуляции хладагента. Приведены рекомендации по настройке системы автоматического управления.

Ключевые слова: *контур регулирования, чиллер, драйкулер, осушитель, система кондиционирования, контур циркуляции.*

Алгоритм управления – точно определенный порядок выработки управленческих решений, формирования планов, обмена информацией в процессе управления, разработка которого является необходимым этапом проектирования любой автоматизированной системы управления.

Алгоритмы управления разработаны для двухконтурной системы кондиционирования воздуха. Функциональная схема данной системы представлена на рисунках 1 и 2.

Запуск контура циркуляции

Для запуска должны быть выполнены следующие условия:

- выбран аппарат для охлаждения контура циркуляции: чиллер или драйкулер;
- готовы один или два насоса циркуляции Р1 или Р2;
- если выбран драйкулер, то необходимо наличие готовности хотя бы одного из вентиляторов F3, F4 или F5;
- если выбран чиллер, то необходимо отсутствие общей аварии чиллера – сигнал «С3. Чиллер. Неисправность общая».

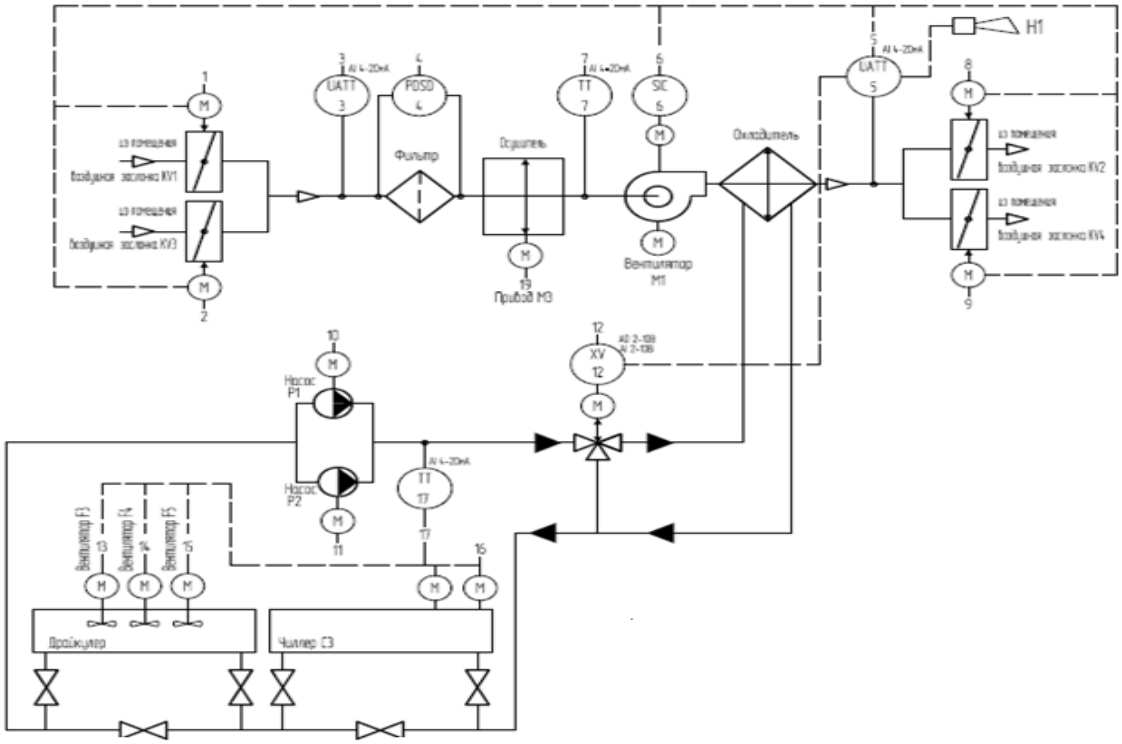


Рисунок 1 – ФСА. Контур регулирования температуры обрабатываемого воздуха

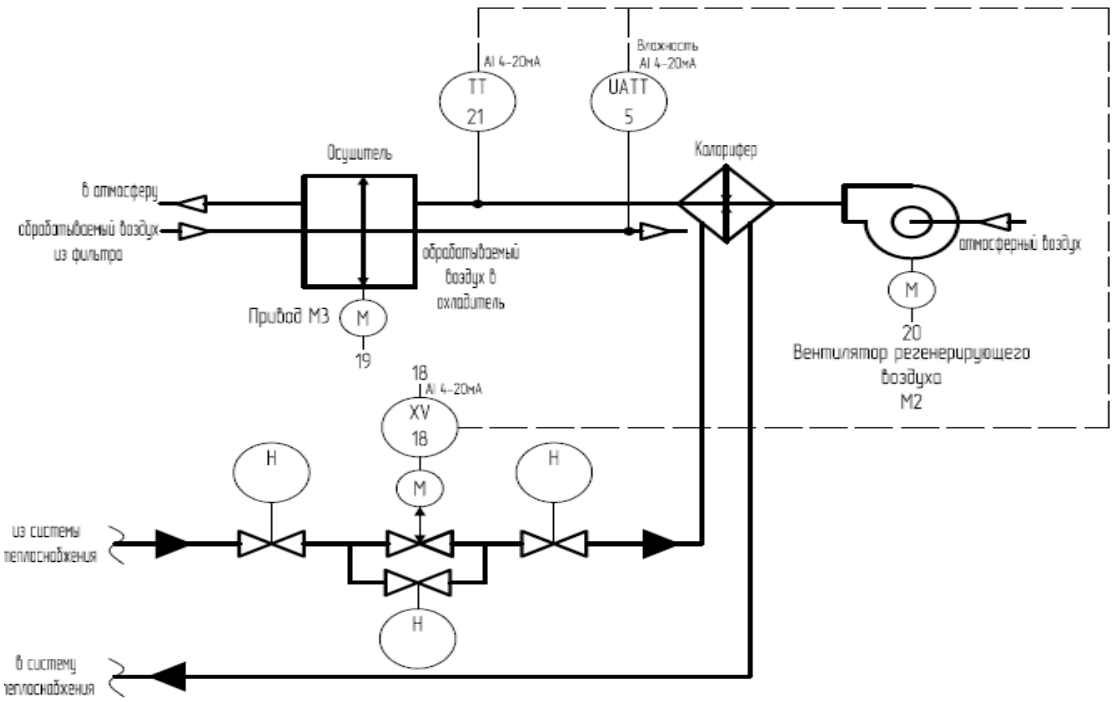


Рисунок 2 – ФСА. Контур регулирования влажности обрабатываемого воздуха

Для запуска контура циркуляции необходимо нажать кнопку «Старт» на экране контура циркуляции. При этом программа выполняет следующие действия:

- кнопка Старт подсвечивается темным цветом;
- запускает один из насосов циркуляции Р1 или Р2. Дляобеспечение равномерного износа насосов, каждый запуск САУ сравнивает наработку мотто часов каждого двигателя и запускает тот насос, чья наработка меньше. В процессе работы контура циркуляции можно переключить насосы. Для этого, на экране ручного управления контура циркуляции необходимо перейти в ручной режим, остановить работающий насос, запустить необходимый, затем перевести управление в автоматический режим;
- запускает необходимое количество вентиляторов, если выбран драйкулер, или необходимое количество компрессоров, если выбран чиллер.

Работа контура циркуляции

Работа контура циркуляции заключается в циркуляции хладагента через осушитель и поддержание температуры хладагента на заданном уровне.

Циркуляция осуществляется насосами Р1 и Р2. Один насос находится в работе, а второй в горячем резерве. При аварии рабочего насоса второй включается автоматически.

В процессе работы контура циркуляции можно переключить насосы. Для этого, на экране ручного управления контура циркуляции необходимо перейти в ручной режим, остановить работающий насос, запустить необходимый, затем перевести управление в автоматический режим.

Охлаждение хладагента осуществляется либо с помощью драйкулера, за счет температуры уличного воздуха, либо с помощью чиллера, за счет холодильной установки. Выбор осуществляется вручную на экране контура циркуляции. Выбор можно осуществлять как на выключенной установке, так и на рабочей.

Количество подключаемых вентиляторов или компрессоров, определяется относительно заданной температуры.

САУ контуром циркуляции может иметь следующие состояния:

- Выключено. САУ контуром циркуляции отключена.
- Работает. САУ контуром циркуляции запущена. Один из насосов циркуляции работает. Температура в контуре циркуляции находится в диапазоне от -5 °С до +5 °С.
- Температура не готова. САУ контуром циркуляции запущена. Один из насосов циркуляции работает. Температура в контуре циркуляции выходит за диапазон от -5 °С до +5 °С.

- Насос не запущен. САУ контуром циркуляции запущена. Не один из насосов циркуляции не работает.

САУ контуром циркуляции включит первую ступень чиллера, когда разница между температурой в контуре циркуляции ТТ-17 и заданием будет больше 2,5, т.е температура в контуре циркуляции ТТ-17 будет больше 1,5 °С (-1+2,5=1,5). Включение первой ступени произойдет без задержки времени. Если температура ТТ-17 продолжает превышать 1,5 °С то через 90 секунд включается вторая ступень чиллера. Если в течении 90 секунд температура ТТ-17 снижается до значения меньше 1,5 °С, то остается включена только первая ступень чиллера.

САУ контуром циркуляции отключит вторую ступень чиллера, когда разница между температурой в контуре циркуляции ТТ-17 и заданием будет меньше -1,5, т.е температура в контуре циркуляции ТТ-17 будет меньше -2,5 °С (-1-1,5=-2,5). Отключение второй ступени произойдет без задержки времени. Если температура ТТ-17 продолжает находиться в зоне меньше -2,5 °С, то через 90 секунд отключается первая ступень чиллера. Если в течении 90 секунд температура ТТ-17поднимается до значения больше -2,5 °С, то первая ступень чиллера остается включенной.

Остановка контура циркуляция возможна только тогда, когда остановлена САУ осушителем. Пока она в работе кнопка «Стоп» контура циркуляции не активна.

Для остановки контура циркуляции необходимо нажать кнопку «Стоп» на экране контура циркуляции. При этом остановятся все работающие механизмы и кнопка «Старт» становится белая.

Для запуска должны быть выполнены следующие условия:

- Контур циркуляции запущен, и находится в состоянии «Работает».
- Наличие готовности вентилятора обрабатываемого воздуха М1.
- Отсутствие аварии датчика влажности после охладителя UATT5-E.
- Отсутствие аварии датчика температуры после охладителя UATT5-T.
- Отсутствие аварии клапана регулирования подачи пара XV-18.

Для запуска САУ осушителем необходимо нажать кнопку «Старт» на экране осушителя. При этом выполняются следующие действия:

- Кнопка «Старт» становится темного цвета.
- Запускается вентилятор обрабатываемого воздуха М1.
- Запускается ПИД регулятор пара.
- Запускается ПИД регулятор температуры обрабатываемого воздуха.

Работа осушителя

Работа САУ осушителем предназначена для подачи в производственные помещения воздуха с заданной температурой и влажностью.

Охлаждение обрабатываемого воздуха до заданной температуры осуществляется в охладителе. Температура регулируется количеством хладагента пропускаемого через осушитель. Количество хладагента регулируется трехходовым клапаном XV12, величина открытия которого управляется ПИД регулятором температуры обрабатываемого воздуха.

Влажность воздуха регулируется за счет изменения температуры воздуха регенерации на осушитель. Температура воздуха регенерации регулируется изменением расхода пара подаваемого на калорифер подогрева воздуха. Изменение расхода пара осуществляется клапаном XV18, степень открытия которого управляется ПИД регулятором пара.

Для остановки осушителя необходимо нажать кнопку «Стоп» на экране осушителя.

При этом кнопка «Старт» становится белой, вентилятор обрабатываемого воздуха М1 останавливается, клапана XV12 и XV18 закрываются.

Список литературы

1. Системы кондиционирования воздуха [Электронный ресурс]. – URL:http://www.holodilshchik.ru/index_holodilshchik_issue_1_2005_Conditioning.htm (дата обращения: 14.12.2017)
2. Системы кондиционирования для технологических процессов [Электронный ресурс]. – URL:http://www.climatepiter.com/conditioning_systems/ (дата обращения: 14.12.2017)
3. Управление микроклиматом [Электронный ресурс]. – URL:http://www.building-materials.ru/articles/articles_3484.html (дата обращения: 14.12.2017)
4. ГОСТ 19.701-90. Схемы алгоритмов, программ, данных и систем[Электронный ресурс]. – URL: http://www.pntd.ru/19.701.htm (дата обращения: 14.12.2017)
5. Алгоритмы управления в системах кондиционирования воздуха [Электронный ресурс]. – URL:http://ruaut.ru/content/publikacii/ingener_system/algoritmy-upravleniya-v-sistemakh-konditsionirovaniya-vozdukha.html (дата обращения: 14.12.2017)
6. Алгоритмы функционирования систем кондиционирования воздуха [Электронный ресурс]. – URL: http://www.tksant.ru/1-6-11-algoritmy-funkcionirovaniya-skv/ (дата обращения: 14.12.2017)

05.13.00

М.В. Овечкин канд. техн. наук, М.А. Корнипаев канд. техн. наук, Ю.И. Овечкина

Оренбургский государственный университет,
Аэрокосмический институт, кафедра систем автоматизации производства,
Оренбург, maxov-1@mail.ru

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО КОНТРОЛЯ СПЛОШНОСТИ ИЗДЕЛИЙ НА ОСНОВЕ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПЛАСТИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЙ

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-5-236-238

*В работе представлены результаты системного анализа по теме возможности автоматизации предварительного контроля сплошности изделий**.** Целью исследования является анализ возможности предварительного компьютерного контроля сплошности изделий на основе моделирования операционных инструментов. В качестве границ исследования выбраны методы производства изделий при помощи пластических деформаций на примере холодной штамповки. Приведена функциональная модель автоматизации предварительного контроля. Сделаны выводы о проблематике процессов автоматизации предварительного контроля сплошности изделий.*

Ключевые слова: *автоматизация контроля, сплошность изделий, холодная штамповка, обработка металлов давлением, компьютерное моделирование.*

В связи с повышением требовании к качеству и надежности выпускаемых изделий все большее значение приобретают физические методы автоматизированного контроля металлов и изделий из них, не требующие вырезки образцов или разрушения готовых изделий. В частности, такой контроль необходим для изделий, получаемых методами обработки металлов давлением. На сегодняшний день наиболее передовой методикой обработки металлов давлением является холодная штамповка [1]. Под объемной штамповкой подразумевается такой технологический процесс, в результате которого происходит пространственное изменение различных объемных заготовок, имеющих простейшую геометрическую конфигурацию, используемый для изготовления затем деталей гораздо более сложной формы. В результате пластической деформации происходит процесс перераспределения металла, из которого сформирована исходная заготовка. Применение данной методики позволяет получать изделия различных форм и размеров. Важно отметить, что изделия, изготовленные по данной технологии, отличаются не только точностью своих геометрических параметров, но и высоким качеством сформированной поверхности, что исключает потребность в дальнейшей обработке [2].

В то же время, обработка металлов методами холодной штамповки может привести к таким дефектам заготовок как трещины и разрывы. Во многом это зависит от параметров выполнения операции штамповки, но отдельное место занимают дефекты, связанные с качеством изготовления инструментов штамповки. Отсутствие тщательной доводки размеров рабочих частей штампа приводит к дефектам изделия по размерам. Дефект по этой причине наиболее характерен для гибочных операций, поскольку неточная доводка гибочного штампа приводит к появлению пружинения металла. Недостаточная сила прижима, чрезмерный износ поверхностей рабочих частей штампа или неправильная конструкция вытяжного штампа (неправильное положение изделия в штампе, неудачная форма и размеры поверхности прижима заготовки) при вытяжке приводят к таким дефектам, как морщины и складки (рис. 1), которые могут, в дальнейшем, привести к нарушению сплошности изделия.

Уменьшение размеров поковки относительно заданных чертежом - возникает при больших износе штампа и угаре металла при нагреве, а также при неправильном проектировании штампа — неравномерности зазоров между матрицей и пуансоном, приводящей к однобокому срезу поковки, и, как следствие, последующим разрывом металла заготовок.



Рис. 1 – Дефект заготовки в виде продольных складок

Иногда дефекты поковок выявляются и уже после обработки резанием: если глубина вмятины или забоины, получившейся в результате заштамповки окалины, превысит размер припуска на обработку резанием, на обработанной поверхности детали остается чернота, которая может возникать также из-за кривизны поковки, неполноты ее формы, ослабления размеров и при неправильном выборе базовых поверхностей поковки [3].

В процессе исследования были сформулированы проблемы теории и практики и выявлено, что в условиях необходимости быстрого и качественного выпуска деталей отсутствует система автоматизированного проектирования и предварительного контроля процессов холодного объемного выдавливания [4].

Исходя из этого выявим независимые переменные, то есть регрессоры и предикторы, и критериальные (зависимые) переменные информационных потоков системы автоматизации контроля сплошности. Предикторами, в данном случае, будут являться: геометрические параметры штамповых инструментов и заготовок; механические свойства материалов заготовок; параметры прессовых операций [5].

Относительно критериальных переменных, объемные детали характеризуются: геометрической формой и размерами; точностными требованиями; качеством поверхности; физико-механическими свойствами материала.

В процессе производства детали наиболее важное значение имеют геометрические параметры изделий. Например, в зависимости от высоты (размера) исходной заготовки отдельные стадии процесса могут отсутствовать или может изменяться их протяженность. Вследствие этого, изменяется структура и прочностные параметры деформируемых полуфабрикатов.

На основе изложенного, представим декомпозированную функциональную модель автоматизации предварительного контроля сплошности на основе компьютерного моделирования пластических деформаций в виде IDEF0 (рис. 2).

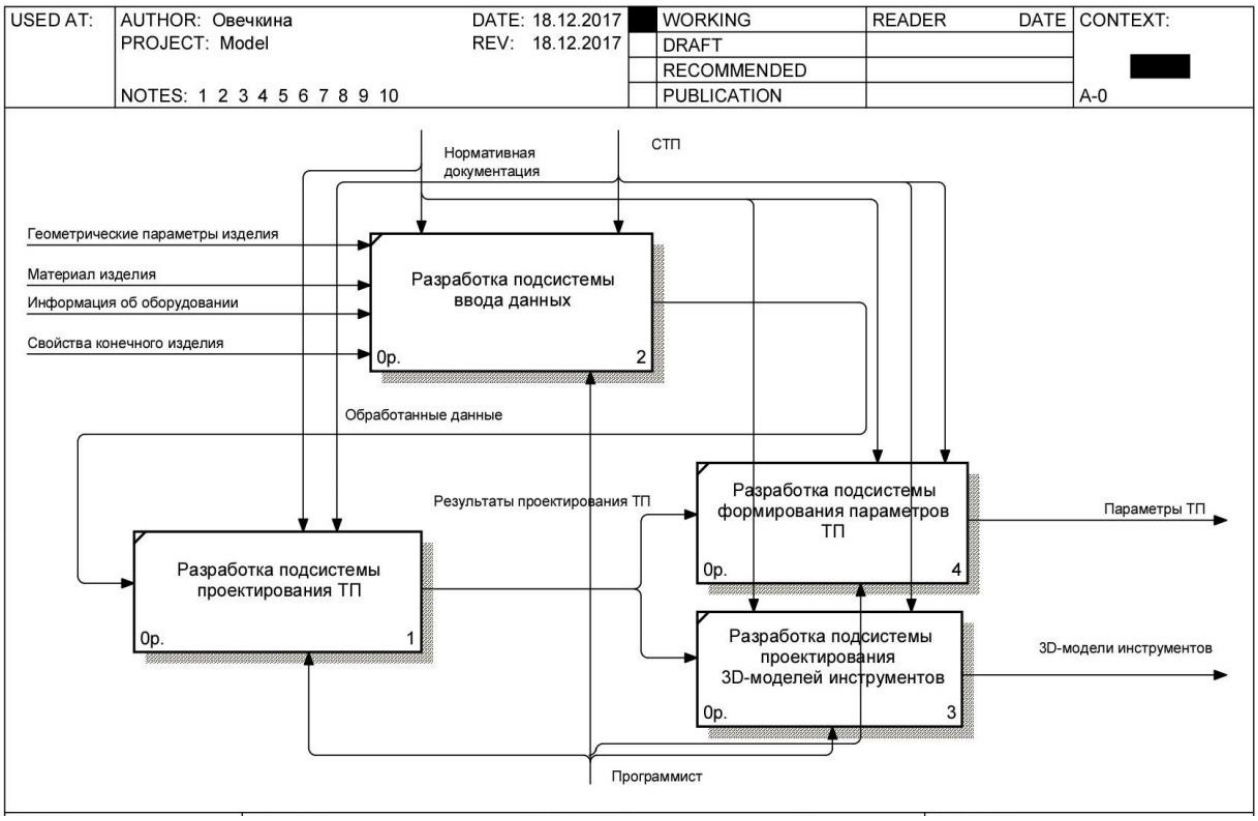


Рис. 2 – Функциональная диаграмма IDEF0

На сегодняшний момент на рынке программных комплексов по моделированию процессов ОМД наиболее распространёнными являются следующие: QFORM3D от компании QuantorForm ; AutoForm от компании AutoForm Engineering ; DEFORM, компания Scientific Forming Technologies Corporation [6]. Данные программы помогают получить геометрию инструмента для готового изделия, но не позволяют получить геометрические данные промежуточных полуфабрикатов и инструментов при производстве детали в несколько этапов. Таким образом, создается необходимость разработки собственных программных средств автоматизированного контроля на основании предложенных моделей.

Статья подготовлена в рамках проекта по гранту президента № МК – 5451.2018.8.

Список литературы

1. *Титов, Ю А* Технология ковки и объемной штамповки : учебное пособие / Ю. А. Титов, В. Н. Кокорин, О. И. Морозов. – Ульяновск : Ул- ГТУ, 2016. – 111 с. ISBN 978-5-9795-1613-4
2. *Навороцкий, Г.А.* Ковка и штамповка. Том 3. Холодная объемная штамповка / Г.А. Навроцкий. - М: Машиностроение, 1987. - 384 с.
3. *Каневский, И.Н.* Неразрушающие методы контроля: учеб. пособие / И.Н. Каневский, Е.Н. Сальникова. – Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2007. – 243 с.
4. *Овечкин, М.В.* Автоматизация расчета матриц объемной штамповки заготовок круглого сечения / М.В. Овечкин, А.В. Щеголев, В.Н. Шерстобитова // СТИН - 2017. - №12 - С.33-36
5. *Малов, А. Н.* Технология холодной штамповки / Малов А. Н. – М.: «Машиностроение», 1969. – 568 с.
6. *Сергеев, А.И.* Обзор систем моделирования процессов обработки металлов давлением / А. В. Щеголев, М. В. Овечкин, А.И. Сергеев // Материалы V Международной научно-практической конференции «Решение проблем развития предприятий: роль научных исследований»: Сборник научных трудов. - Краснодар, 2014. – С. 119 - 121.

05.13.06

А.В. Парамонов

ООО «Орский проектно-конструкторский технологический институт машиностроения», Орск, paramonov-andrew@rambler.ru

РАСШИРЕННЫЕ СРЕДСТВА ДЕКЛАРАТИВНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ ЛОГИЧЕСКИХ КОНТРОЛЛЕРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИЗУАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-5-239-241

В статье рассматриваются графические (визуальные) модели промышленных установок. Рассматривается метод декларативного визуального программирования логических контроллеров с использованием графических (визуальных) моделей промышленных установок. Описываются принципы проектирования в рамках данного подхода алгоритмов логического управления с аналоговыми сигналами, временными задержками и счётчиками.

Ключевые слова: *автоматизация программирования, программируемый логический контроллер, визуальная модель промышленной установки, визуальное программирование*.

Введение. При разработке программы для программируемого логического контроллера (ПЛК), функционирующего в условиях промышленной среды, очень важно соблюдение показателей её качества. Так, некорректно написанная программа может стать причиной простоев и выхода из строя дорогостоящего оборудования, а в некоторых случаях может стать причиной угрозы здоровью и жизни людей. В связи с этим актуальной является задача автоматизации программирования ПЛК.

В области автоматизации программирования ПЛК можно выделить несколько направлений. Вопросам использования *формальных спецификаций* алгоритмов управления для автоматизации программирования посвящены работы А. А. Шалыто [1], Е. В. Кузьмина, В. А. Соколова [2], А. С. Хадеева [3]. В стандарте МЭК 61131-3 описываются языки *визуального программирования* Ladder Diagram, Function Block Diagram и Sequential Function Chart. Вопросы применения *библиотек подпрограмм* для автоматизации программирования рассматриваются в работах R. A. Havner [4], M. J. Schwenke [5]. В работах О. А. Большакова [6], S. D. Ryan [7], M. P. Bender [8] рассматривается применение *визуальных моделей* систем автоматизации.

В работах автора [9, 10] рассматриваются проблемы, возникающие при использовании указанных выше подходов, и предлагается метод декларативного программирования с использованием визуальных моделей.

Целью настоящей работы является рассмотрение в рамках данного метода принципов проектирования таких распространённых элементов как аналоговые сигналы, временные задержки и счётчики.

Декларативное программирование с использованием визуальных моделей. Визуальная модель представляет собой графическое изображение промышленной установки, которое компонуется пользователем из заранее подготовленных изображений её частей. Изображения частей установки будем называть иконками. Путём манипулирования иконками в режиме “drag and drop” пользователем строится модель всей установки. В качестве иконок, кроме изображений частей установки, используются изображения датчиков, органов управления, исполнительных механизмов, средств информирования оператора, а также сигналов, которыми контроллер обменивается с установкой. Пользователь имеет возможность изменять иконки сигналов. Одна иконка сигнала показывает одно его значение. На рисунке 1 представлен пример визуальной модели. Модель установки на рисунке 1 компонуется из шести иконок – рельс, передвижной тележки и четырёх сигналов.

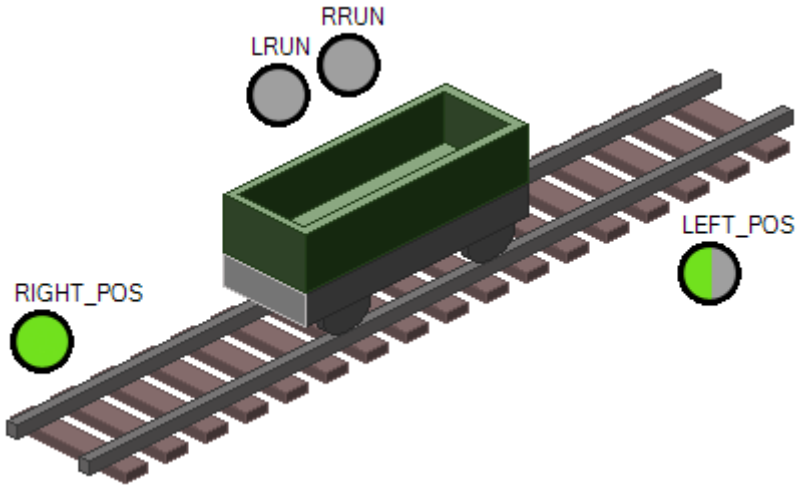


Рис. 1 – Пример визуальной модели

Основой составляемого по модели алгоритма является автомат Мура, в котором состояния характеризуются векторами значений выходных сигналов ПЛК (однако, векторы любой пары различных состояний могут совпадать), а переходы – векторами значений входных сигналов ПЛК.

Изменяя иконки выходных сигналов, пользователь моделирует различные состояния системы, а изменяя иконки входных сигналов – переходы между этими состояниями.

Аналоговые сигналы. При решении задач логического управления часто возникает необходимость использования аналоговых сигналов. При этом каждому аналоговому сигналу ставится в соответствие множество логических переменных, каждая из которых, в свою очередь, соответствует некоторому логическому высказыванию относительно значения аналогового сигнала. Например, переменная может соответствовать высказыванию «Значение аналогового сигнала X равно 30,0» или «Значение аналогового сигнала X больше 15,0». Описанные логические переменные будем называть граничными переменными. Для разработки алгоритма с использованием аналоговых сигналов пользователем добавляются в модель аналоговые входные или выходные сигналы, а также соответствующие им граничные переменные. В дальнейшем при составлении алгоритма пользователь манипулирует граничными переменными так же, как и обычными входными и выходными сигналами. При синтезе программы по алгоритму внутри неё могут создаваться так называемые сегменты компараторов – участки кода, вычисляющие значения граничных переменных в зависимости от значений соответствующих аналоговых сигналов.

Временные задержки. В общем случае каждое состояние автомата имеет несколько входных и выходных переходов. Временной интервал между моментом входа в состояние (из другого состояния) и моментом выхода из него называется временем разрешения выхода состояния и обозначается t_e. Теоретически t_e каждого состояния детерминированного автомата равно нулю. Действительно, если система выходных переходов состояния полна и непротиворечива, то, как только автомат входит в это состояние, так сразу же становится выполнимым ровно один выходной переход. На практике же t_e зависит от времени, за которое ПЛК выполнит оставшиеся инструкции программы и вновь начнёт считывание входов. Принудительно задав t_e большим нуля, получим состояние, работающее с определённой временной задержкой. На практике встречаются случаи, когда некоторые выходные переходы состояния с ненулевым t_e должны работать сразу же, игнорируя задержку. Поэтому t_e распространяется на некоторое подмножество выходных переходов. Переход в состояние с ненулевым t_e вызывает задержку, повторный же переход (петля) задержки не вызывает, а t_e остаётся равным нулю.

При моделировании состояния пользователь может указать, что оно обладает некоторой ненулевой временной задержкой, а затем, при создании перехода из этого состояния указать, что он выполняется после задержки. Детали реализации задержки при этом скрываются от пользователя. Модель автоматически дополняется логическими сигналами старта и окончания задержки. Эти сигналы используются так же, как и обычные выходные и выходные сигналы, но скрыты от пользователя.

Счётчики. Пусть все выходные переходы из некоторого подмножества множества всех выходных переходов состояния разрешены только тогда, когда количество входов в данное состояние (кроме петель) станет большим или равным некоторой константе. Такая константа называется разрешающим числом входов и в общем случае равна единице. Если же требуется увеличить разрешающее число входов, то подмножество разрешаемых выходных переходов не должно совпадать с множеством всех выходных переходов состояния. Введение понятия разрешающего числа входов позволяет организовать в алгоритмах циклы.

По аналогии с задержками, при создании состояния пользователь может указать, что необходим подсчёт его посещений, а при создании исходящего перехода указать, что он разрешен только тогда, когда подсчёт завершён.

Заключение. Таким образом, описаны графические (визуальные) модели промышленных установок, отличающиеся от существующих возможностью использования для описания алгоритмов логического управления, а также возможностью извлечения знаний о промышленной установке, необходимых для построения полных и непротиворечивых алгоритмов. Рассмотрен метод построения алгоритмов с использованием графических моделей. Описаны принципы проектирования (в рамках данного метода) аналоговых сигналов, временных задержек и счётчиков в алгоритмах, позволяющие значительно расширить круг решаемых с помощью данного метода задач.

Список литературы

1 *Шалыто А.А.* SWITCH-технология. Алгоритмизация и программирование задач логического управления. СПб.: Наука, 1998. 628 с.

2 *Кузьмин Е. В., Соколов В. А., Рябухин Д. А.* Построение и верификация LD-программ ПЛК по LTL-спецификации // Моделирование и анализ информационных систем. Ярославль, 2013. Т. 20, №6 (2013). С. 78–94.

3 *Хадеев А.С., Браништов С.А.* Метод синтеза LD-программ для ПЛК на основе концепции супервизорного управления дискретно-событийными системами, представленными в сетях Петри // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности, №1. – М., 2013. – С. 42-48.

4 Пат. 6854111 США. Library manager for automated programming of industrial controls / R. A. Havner, S. D. Ryan, J. F. Toman, C. J. Whitehead Jr., K. P. Yuen Опубл. 08.02.2005.

5 Пат. 6154684 США. Template language for industrial controller programming / M. J. Schwenke, J. A. Sinclair, R. J. Staron Опубл. 28.11.2000.

6 *Большаков О. А.* Автоматизация программирования логических контроллеров на основе компьютерных моделей при разработках автоматизированных систем управления технологическими процессами в промышленности: дис. канд. технич. наук. – М., 2014.–155с.

7 Пат. 6477435 США. Automated programming system for industrial control using area-model / S. D. Ryan, R. A. Havner, K. P. Yuen, C. J. Whitehead, J. F. Toman Опубл. 05.11.2002.

8 Пат. 5576946 США. Icon based process design and control system / M. P. Bender, J. P. McAndrew Опубл. 19.11.1996.

9 *Парамонов А.В.* Графическое моделирование технологического процесса как вспомогательное средство составления алгоритма управления // Программные продукты и системы. – 2016. – № 4. – С. 89–93.

10 *Парамонов А.В.* Методы и средства построения алгоритмов логического управления по графическим моделям // Программные продукты и системы. – 2017. – № 4. – С. 672–677.

05.13.00

П.А. Пуеров, А.Н. Лыков канд. техн. наук

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
электротехнический факультет, кафедра микропроцессорных средств автоматизации,
Пермь, lokengarviel@yandex.ru, lykov45@yandex.ru

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ИНВЕРТОРЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-5-242-245

Статья посвящена специальным электронным силовым полупроводниковым устройствам, называемым инверторами. Рассмотрены основные свойства и принцип действия приборов. Описана область их практического применения.

Ключевые слова: *инвертор, полупроводник, частота, транзистор, тиристор, источники питания, стабилизация.*

В современных условиях вместо массивных электронных устройств все чаще применяются компактные устройства на базе полупроводниковых приборов, примером которых может служить инвертор. Инвертором называется устройство для преобразования постоянного тока в переменный с регулируемыми или постоянными значениями напряжения и частоты на выходе. Можно сказать, что инвертор – это генератор периодически изменяющегося напряжения, форма которого может быть синусоидальной, приближенной к синусоидальной или импульсной [1, 2].

К свойствам инверторов можно отнести:

– устранение или ослабление зависимости работы информационных систем от качества сетей переменного тока;

– преобразование энергии, где инвертор является промежуточным звеном в цепи преобразователей (частота в десятки-сотни кГц);

– высокий КПД, надежность, приемлемые массогабаритные характеристики;

– допустимый уровень высших гармонических составляющих в кривой выходного напряжения и отсутствие при работе недопустимого для других потребителей уровня пульсации на зажимах источника энергии [3].

Работа инвертора напряжения основана на переключении источника постоянного напряжения для периодического изменения полярности напряжения на зажимах нагрузки. Частота переключения задается сигналами управления, формируемыми контроллером (управляющей схемой), который может решать задачи регулирования напряжения, синхронизации частоты переключения ключей, защиты ключей от перегрузок и др. [3].

По принципу действия инверторы делятся на: автономные (АИ) – инверторы, работающие на нагрузку, не имеющую другого источника питания; зависимые (ЗИ) – инверторы, ведомые сетью (силовой преобразователь рентгеновского флюорографического аппарата).

В роли переключательных элементов в АИ нашли широкое применение все виды транзисторов, а также стандартные и двухоперационные тиристоры. Транзисторные ключи на биполярных и полевых транзисторах применяются в устройствах небольшой и средней мощности. Тиристоры и *IGBT* чаще используют в мощных схемах.

Автономные инверторы делятся на два типа:

1) АИ напряжения генерируют в нагрузке переменное напряжение периодическим подсоединением ее к источнику напряжения за счет поочередного попарного подключения вентилей (рис. 1). Частота тока в нагрузке задается управляющей схемой. Источник питания работает в режиме генератора напряжения (аккумулятор или выпрямитель с емкостным фильтром) [1].

2) В АИ тока схема (рис. 2) получает питание через индуктивность большого номинала, поэтому потребляемый ток практически не изменяется. При поочередном переключении вентильных пар (не запираемых) в нагрузке генерируются прямоугольные токовые импульсы, а форма напряжения зависит от характера нагрузки, которая обычно бывает активно-емкостной. В нагрузке генерируется напряжение с частотой, задаваемой схемой управления. Форма напряжения зависит от сопротивления нагрузки $R_н$ (при больших значениях она ближе к треугольной, при более низких – к прямоугольной), а величина – от коэффициента трансформации E и значения $R_н$.

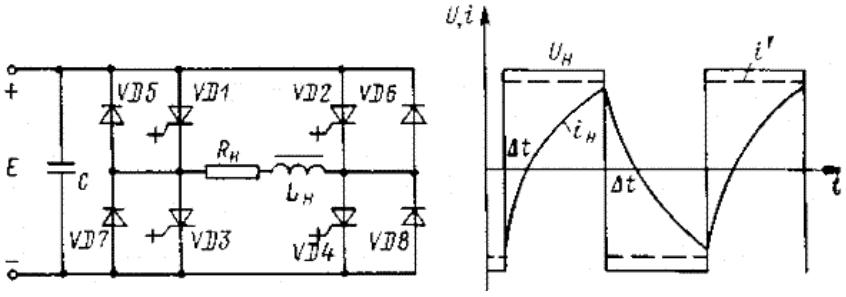


Рис. 1 – Схема автономного инвертора напряжения

В роли управляющей схемы можно использовать транзисторный симметричный мультивибратор с эмиттерными повторителями, подсоединенными к управляющим электродам тиристоров, питающийся от того же блока питания [1].

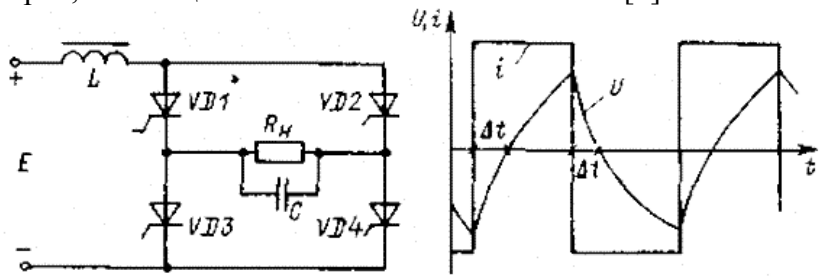


Рисунок 2 – Схема автономного инвертора тока

Реализация инверторов предполагает следующее.

1) Ключи инвертора должны быть управляемыми (включение и выключение по сигналу управления), а также обладать свойством двухсторонней проводимости тока. Их получают шунтированием транзисторов обратными диодами. Исключение – полевые транзисторы, в которых такой диод является внутренним элементом их структуры.

2) Регулирование выходного напряжения (ВН) инверторов достигается изменением площади импульса полуволны. В наиболее простом варианте – регулирование длительности (ширины) импульса полуволны (метод широтно-импульсной модуляции сигналов).

3) Нарушение симметрии полуволн ВН порождает побочные продукты преобразования с частотой ниже основной, включая возможность появления постоянной составляющей, недопустимой для цепей с трансформаторами.

4) Для получения управляемых режимов работы инвертора, ключи и алгоритм управления ключами должны обеспечить последовательную смену структур силовой цепи (прямой, коротко замкнутой и инверсной).

5) Мгновенная мощность потребителя *p(t)* пульсирует с удвоенной частотой, поэтому первичный источник питания должен допускать работу с пульсирующими и даже изменяющими знак токами потребления. Переменные составляющие тока определяют уровень помех [3].

Ввиду высокой частоты преобразования постоянного напряжения в переменное, инверторы часто применяются в системах, где являются промежуточным звеном в цепочке преобразователей. К примеру, широкое применение инверторы получили в сварочных источниках питания, называемых инверторными источниками сварочного тока. Инверторный источник сварочного тока на текущий момент является одним из самых популярных сварочных аппаратов для всех видов дуговой сварки, в полной мере

соответствующий указанным параметрам сварочного процесса, одним из которых является его устойчивость к колебаниям и помехам. [4].

Функциональная схема инверторного источника питания следующая. Напряжение питающей сети (380 В) преобразуется входным выпрямителем в постоянное 500 В, поступает на инвертор, преобразуется в переменное напряжение повышенной частоты (до десятков кГц) и поступает на высокочастотный трансформатор, где понижается до 70-90 В, а сила тока повышается до необходимых для сварки 100-200 А. Вторичная обмотка трансформатора соединена с выпрямителем, к выходу которого через сглаживающий дроссель присоединены электрод и изделие [5].

В инверторном сварочном аппарате сила сварочного тока нужной величины достигается преобразованием высокочастотных токов, а не путем преобразования ЭДС в катушке индукции (как в трансформаторных аппаратах). Питание трансформатора напряжением высокой частоты позволяет снизить массу и объем материалов, идущих на его изготовление, что уменьшает потери мощности и повышает КПД источника питания.

В первых источниках питания сварочной дуги инверторы содержали тиристоры. Основным недостатком таких схем является сравнительно низкая частота преобразования, зависящая от времени выключения тиристора. Современные быстродействующие тиристоры позволяют получить предельную частоту около 5 кГц, а мощные транзисторы по сравнению с тиристорами имеют более высокую скорость преобразования и обеспечивают частоту инвертируемого напряжения и тока до 100 кГц.

Источники сварочного тока с транзисторными инверторами позволяют перейти с аналогового управления, как в тиристорных схемах, на цифровое управление на базе микропроцессоров, что позволяет решать многие технологические задачи при организации процесса сварки [5, 6].

Для более ясного представления всех свойств инверторных сварочных источников предлагается сравнение их с обычными трансформаторными сварочными аппаратами [6, 7] (табл. 1).

Таблица 1 – Сравнение инверторных сварочных источников и трансформаторных сварочных аппаратов

Инверторные сварочные источники	Трансформаторные сварочные аппараты
Стабилизированный постоянный ток, не зависит от колебаний входного напряжения и обеспечивает устойчивую дугу	Плохая устойчивость дуги вместе с низкой стабильностью режима, сильно зависящего от колебаний сети
Наличие плавной регулировки тока	Отсутствие плавной регулировки сварочного тока
Малый вес и небольшие габариты	Большой вес и значительные габариты
Потребление малого количества электроэнергии (может работать от бытовой сети и автономных источников питания)	Потребление сравнительно большого количества электроэнергии
Высокая стоимость	В два и более раз дешевле инверторов
Наличие спецфункций управления сварочным током: «*Hot start*» (поджиг электрода при подаче максимальной величины тока); *«Anti-Sticking»* **(**снижение сварочного тока до минимума при коротком замыкании); *«Arc Force»* (возрастание тока до оптимального значения в момент отрыва капли металла).	Отсутствие спецфункций управления сварочным током
Высокая стоимость ремонта и необходимость периодического обслуживания	Ремонт обходится дешевле, а обслуживание – реже
Особые условия эксплуатации (температурные и погодные условия)	Значительно менее чувствительны к условиям эксплуатации

Список литературы

1. Инвертор в электронике [Электронный ресурс]. – URL: http://www.texnic.ru/tools/gl/gl010-2.html (дата обращения: 23.02.2018)
2. Инвертор напряжения, как он работает, применение инвертора [Электронный ресурс]. – URL: http://electricalschool.info/electronica/1889-chto-takoe-invertor-naprjazhenija-kak.html (дата обращения: 23.02.2018)
3. Инверторы в электротехнике [Электронный ресурс]. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Инвертор_ (дата обращения: 23.02.2018)
4. Инверторный источник сварочного тока [Электронный ресурс]. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Инверторный_источник_сварочного_тока (дата обращения: 23.02.2018)
5. Инверторные источники сварочного тока [Электронный ресурс]. – URL: http://otdelka-profi.narod.ru/svarka/5/invert_istochniki_svarochnogo _toka.htm (дата обращения: 23.02.2018)
6. Что такое сварочный инвертор и как он работает [Электронный ресурс]. – URL: http://electrik.info/main/news/573-chto-takoe-svarochnyy-invertor.html (дата обращения: 23.02.2018)
7. Сварка: трансформатор или инвертор [Электронный ресурс]. – URL: http://foxweld.ru/stati11/transformator_ili_invertor (дата обращения: 23.02.2018).

05.13.12

А.В. Рыбина, В.В. Гаряева канд.техн.наук

ФГБОУ ВО "Национальный исследовательский
Московский государственный строительный университет",
кафедра Информационных систем, технологий и автоматизации в строительстве,
Москва, garyaeva@bk.ru

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОГРАММ МОДЕЛИРОВАНИЯ 3D-ОБЪЕКТОВ В СТРОИТЕЛЬНОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-5-246-249

В статье представлены результаты анализа эффективности применения программ 3D-моделирования в сфере строительного проектирования проведенного с использованием метода анализа иерархий.

Ключевые слова: *3D-моделирование, 3D-графика, 3D-визуализация, 3D-анимация, метод анализа иерархий, функция полезности.*

С появлением мощных графических программ 3D-моделирования и компьютеров, способных в реальном времени визуализировать сложнейшие технологические процессы, началась новая эпоха в проектировании. Компьютерное трёхмерное моделирование, анимация и графика в настоящее время позволяют максимально эффективно разрабатывать сложные строительные проекты [1,2].

Однако, применение программ моделирования 3D-объектов сопровождается значительными затратами, в связи с этим задача анализа выбора и эффективности внедрения различных программ 3D-моделирования является весьма актуальной [3,4].

Архитектурное 3D-моделирование и, соответственно, 3D-визуализация незаменимы при проектировании, строительстве и эксплуатации сооружений, зданий и их комплексов, они позволяют рассмотреть проект со всех сторон, обнаружить ошибки на всех этапах проектирования, оценить различные варианты зонирования пространства. 3D-моделирование зданий кроме удовлетворения потребностей заказчика в индивидуальных архитектурных решениях, способствует усилению связки «проектирование - производство» за счет интеграции с производственными процессами, повышая тем самым производительность труда и качество проектной продукции за счет минимизации ошибок [5,6]. Объемное изображение способно в разы сократить временные и финансовые затраты на проектирование. Большинство конструкторов давно перешли к программам трехмерного моделирования [1].

3D-графика - раздел компьютерной графики, посвящённый методам и способам создания изображений или видео путём моделирования объёмных объектов в трёхмерном пространстве.

3D-анимация, в свою очередь, широко используется для создания реалистичных рекламных роликов. В отличие от обычных видеороликов, снятых при помощи камер, 3D-реклама не требует сложного процесса организации съемок, привлечения актеров и различных технических средств, обеспечивая при этом высокий уровень зрелищности и реалистичности.

3D-решения применяются такими крупнейшими мировыми и отечественными корпорациями, как *Boeing, Sudzuki, Lexus, BP, Land-Rover, Jaguar, Peugeot Citroen, ЛукОйл, РосАтом.* [1]

В большинстве случаев трехмерные модели используются для демонстрации строительного объекта. Они незаменимы для выставок, презентаций, а также для работы с клиентами, когда необходимо продемонстрировать итоговый результат проектирования.

Для того, чтобы получить трёхмерное изображение на плоскости требуется осуществить следующие шаги:

1) *моделирование* — создание 3D-моделей и объектов;
2) *текстурирование* — наложение текстур и материалов на 3D-модели;
3) *освещение* — установка и настройка источников света;
4) *анимация* (в некоторых случаях) — придание движения объектам;
5) *рендеринг* — визуализация созданной графики;
6) *композитинг* или же *компоновка* (если требуется) — доработка изображения (например, коррекция цвета и добавление эффектов);

Для составления рейтинга программ моделирования 3D-объектов и определения наиболее подходящей программы, которая будет в дальнейшем применяться в проектировании, и для оценки экономической эффективности внедрения, использовался математический метод анализа иерархий.

Метод анализа иерархий (МАИ) – математический инструмент системного подхода к сложным проблемам принятия решений. МАИ позволяет рациональным образом структурировать сложную проблему принятия решений в виде иерархии, сравнить и выполнить количественную оценку альтернативных вариантов решения. [2]

С целью повышения достоверности результатов поиска наиболее подходящей программы 3D-моделирования критерии оценки формировались на основе опроса группы экспертов.

Был предложен следующий алгоритм решения задачи:

1. Составление иерархии МАИ
2. Определение ценностей всех критериев
3. Попарное сравнение альтернатив по каждому критерию
1. Составление иерархии МАИ

Для анализа проблемы принятия решений в МАИ была построена иерархическая структура, включающая цель, критерии, альтернативы и другие факторы, влияющие на итоговый выбор программы. Было выбрано 13 критериев, применяемых к 10 альтернативам (Рис. 1).

В качестве критериев были выбраны следующие показатели: уровень моделирования, интерфейс, уровень сложности освоения, кроссплатформенность, популярность, системные требования, студенческая лицензия, многоязыковой интерфейс, русифицированная версия, обучающая информация, поддерживаемые форматы, поддерживаемые языки программирования, поддерживаемые системы рендеринга.

10 альтернатив - программ 3D-моделирования: Autodesk Revit, Autodesk AutoCAD, ArchiCAD, nanoCAD, КОМПАС-3D, Allplan, Vectorworks, Rhinoceros, SketchUp Pro, Renga Architecture.

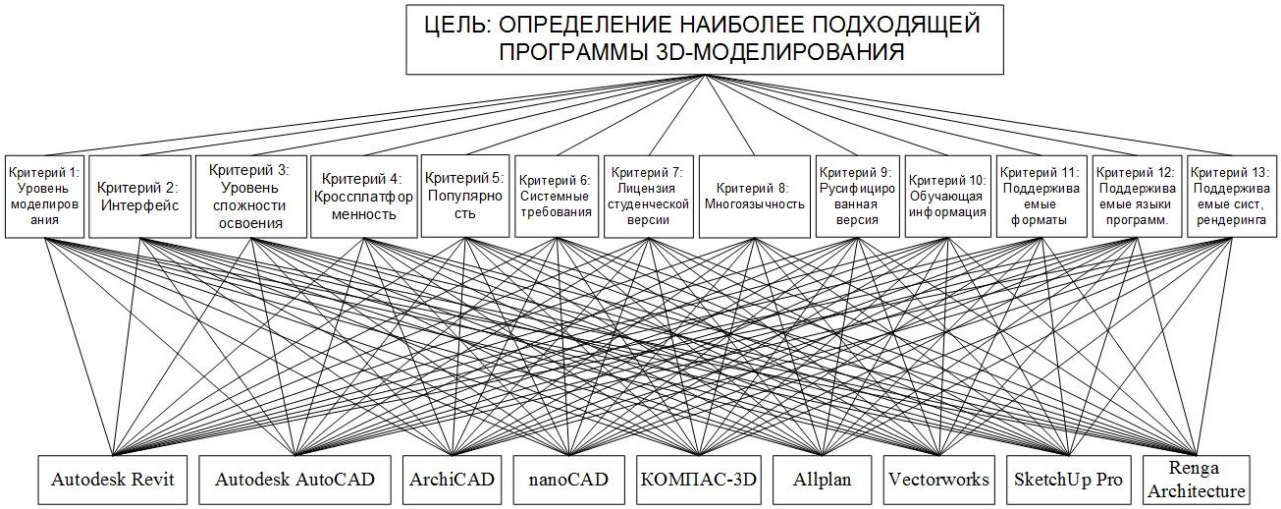


Рис. 1. Иерархия МАИ.

2. Попарное сравнение альтернатив по каждому критерию и проверка согласованности локальных приоритетов

По каждому критерию были составлены матрицы парных сравнений. Для этого экспертом были проставлены оценки в матрицу, в соответствии с данными альтернатив по каждому критерию на свое усмотрение, руководствуясь таблицей относительной важности критериев.

3. Вычисление функции полезности каждой альтернативы

При вычислении функции полезности в качестве первого массива был выбран столбец с ценностями критериев, а в качестве второго массива результаты по каждому критерию для конкретной альтернативы (программы 3D-моделирования). Полученные результаты использовались для определения лучшей альтернативы.

Все нормированные оценки и итоговые результаты интегральной оценки приведены в сводной таблице.

4. Составление рейтинга альтернатив

Следующий шаг заключался в анализе по отношению к стоимости с последующим составлением рейтинга альтернатив. Для этого использовалось отношение полученных интегральных оценок к нормированной стоимости.

Таблица. Сводные данные анализа и вычисленные функции полезности.

Показатели	Нормализованные оценки вектора приоритетов	Autodesk Revit	Autodesk AutoCAD	ArchiCAD	nanoCAD	КОМПАС-3D	Allplan	Vectorworks	Rhinoceros	SketchUp Pro	Renga Architecture
Уровень моделирования	0,242	0,094	0,046	0,081	0,02	0,081	0,179	0,2	0,081	0,02	0,199
Интерфейс	0,142	0,08	0,041	0,191	0,021	0,022	0,09	0,092	0,083	0,192	0,188
Уровень сложности освоения	0,125	0,057	0,052	0,124	0,023	0,022	0,054	0,114	0,051	0,257	0,243
Кроссплатформенность	0,028	0,035	0,441	0,096	0,035	0,035	0,035	0,096	0,096	0,096	0,035
Популярность	0,02	0,087	0,317	0,177	0,019	0,177	0,04	0,019	0,04	0,087	0,04
Системные требования	0,052	0,093	0,052	0,061	0,277	0,073	0,041	0,019	0,092	0,275	0,018
Студенческая лицензия	0,095	0,22	0,22	0,144	0,017	0,144	0,043	0,13	0,043	0,024	0,016
Многоязычность	0,033	0,113	0,113	0,239	0,019	0,019	0,184	0,098	0,098	0,098	0,019
Русифицированная версия	0,099	0,121	0,121	0,121	0,121	0,121	0,121	0,013	0,016	0,121	0,121
Обучающая информация	0,059	0,157	0,293	0,154	0,037	0,082	0,039	0,02	0,037	0,162	0,019
Поддерживаемые форматы	0,033	0,065	0,138	0,224	0,021	0,094	0,111	0,153	0,124	0,05	0,02
Поддерживаемые языки программирования	0,017	0,019	0,094	0,094	0,019	0,019	0,214	0,214	0,214	0,094	0,019
Поддерживаемые системы рендеринга	0,056	0,201	0,063	0,063	0,027	0,027	0,027	0,027	0,338	0,201	0,027
Функция полезности		**0,108**	**0,108**	**0,127**	**0,045**	**0,070**	**0,100**	**0,108**	**0,084**	**0,125**	**0,126**

Наилучшей считается альтернатива, для которой указанное отношение максимально. Лицензии программ 3D-моделирования делятся на два вида: временные и постоянные. Поэтому программы 3D-моделирования с временными и постоянными лицензиями сравнивались отдельно (Рис. 2).

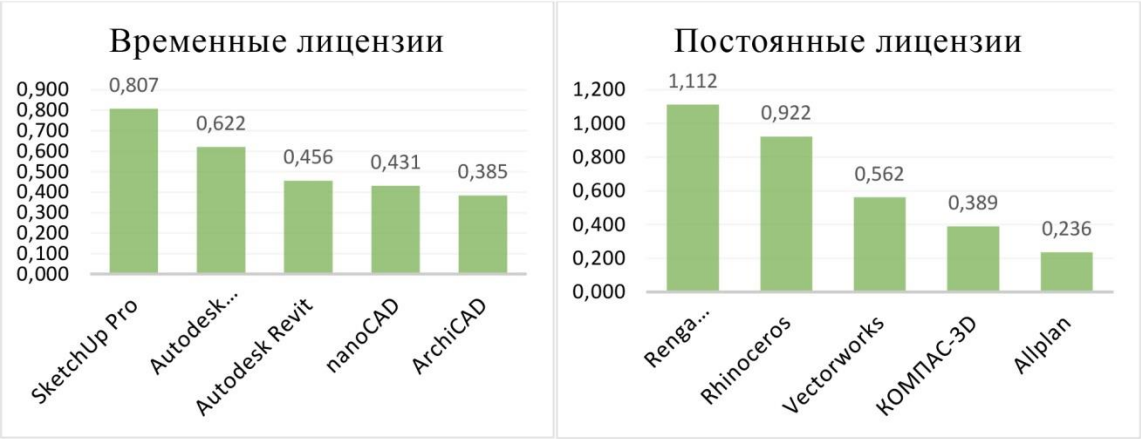


Рис.2. Отсортированные итоговые значения (временные лицензии)

Полученные результаты позволяют утверждать, что среди временных лицензий программа моделирования 3D-объектов SketchUp является наиболее подходящей для строительного проектирования. Среди постоянных лицензий наиболее подходящей будет программа моделирования 3D-объектов Renga Architecture. Полученные результаты являются предпочтительными для средних и крупных компаний, ввиду высокой стоимости локальной лицензии. Кроме того, программа Renga Architecture создавалась в соответствии с технологией информационного моделирования BIM, что полностью соответствует современным тенденциям строительного проектирования.

Список литературы

1. *Малюх В. Н.* Введение в современные САПР. – М.: ДМК Пресс, 2010
2. *Гаряев Н.А., Гагарин П.В.* Современное вычислительное моделирование как этап развития процесса проектирования Вестник МГСУ. 2009. № S1. с. 186-187.
3. *Гаряева В.В.* Разработка методики создания имитационной модели обеспечения удаленных объектов материалами и конструкциями. Научное обозрение. Москва: Издательский дом «Наука образования», 2015. С239-251.
4. Системы автоматизации проектирования в строительстве: учебное пособие под ред. А.В.Гинзбурга / -М.: МГСУ, 2014. - 664 с.
5. *Ларичев О. И.* Теория и методы принятия решений. – М.: Логос, 2000.
6. *Гаряев Н.А., Гаряева В.В., Рыбина А.В.* Разработка имитационной модели анализа проектных решений удаленных строительных объектов с точки зрения обеспечения строительными материалами и конструкциями. Научное обозрение. 2015. № 13. С. 395-398.

05.13.01

Ю.С. Сахалтуева[1], В.С. Тынченко[1] канд. техн. наук,
В.В. Тынченко[2] канд. техн. наук, В.В. Бухтояров[3] канд. техн. наук

Сибирский государственный университет науки и технологии им. М.Ф.Решетнева,
институт информатики и телекоммуникаций,
[1]кафедра информационно-управляющих систем,
[2]кафедра информатики и вычислительной техники
[3]кафедра безопасности информационных технологий
Красноярск, sahaltueva@yandex.ru, vadimond@mail.ru, 051301@mail.ru, vladber@list.ru

МЕТОД ПОИСКА ДУБЛИРУЮЩИХ ОБЪЯВЛЕНИЙ НА ПОРТАЛЕ НЕДВИЖИМОСТИ

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-5-250-252

В статье рассматривается проблема дублирования объявлений на сайтах недвижимости. В качестве средства решения данной проблемы предлагается использовать технологию классификации данных. В работе производится выбор наиболее эффективного метода классификации данных для решения поставленной задачи.

Ключевые слова: *классификация данных, искусственные нейронные сети, веб-сайт, недвижимость*.

Введение

Используя сайты по аренде жилья, пользователи могут не выходя из дома подобрать жилье, соответствующее их личным запросам. Сайты подобного вида упростили процесс поиска недвижимости, но многие пользователи столкнулись с тем, что некоторые объявления дублируются, происходит это, чаще всего по причине того, что некоторые лица используют объявления о продаже или аренде недвижимости других людей, выдавая их за свои, при этом могут изменить все характеристики в объявлениях, тем самым обманывая потенциальных арендаторов и владельцев жилья. По статистике, около 20% объявлений не являются подлинными. Решением данной проблемы является автоматизация поиска дублирующих объявлений с применением современных методов анализа данных.

Задачу поиска дублирующих объявлений можно представить в форме задачи классификации, для решения которой необходимо не только произвести обоснованный выбор алгоритма, но и правильно представить и обработать входные параметры системы. [1]

Предварительная обработка данных по объектам недвижимости

Входными данными для метода поиска дублирующих объявлений могут рассматриваться все характеристики объявлений, но не каждая из них, хранит в себе информацию, исходя из значений которой, можно определить подлинность объявления. Рассмотрев различные источники и объявления, был определен ряд основных и неосновных характеристик. К группе основных характеристик объявлений недвижимости относятся: фотография недвижимости, стоимость, площадь, адрес, этаж и телефон владельца. К неосновным: описание объекта недвижимости, тип дома, количество этажей в доме. Для того, чтобы правильно применить метод классификации, необходимо нормировать все основные характеристики. [2]

При этом, предлагается использовать не сами значения характеристик, а степень идентичности характеристики объекта (коэффициент совпадения - КС) с остальными объектами рассматриваемой группы.

Для расчета значения коэффициента совпадения k-й количественной характеристики i-го объекта применяется следующая формула:

$$KC_i^k = \max_{J \neq i}\left(1 - \frac{X_i^k - X_j^k}{X_i^k + X_j^k}\right), \quad (1)$$

где X_i^k – значение k-й количественной характеристики i-го объекта;

i, j – порядковые номера объектов в рассматриваемом множестве.

Для характеристик, не имеющих количественного выражения, применяется следующая формула:

$$KC_k^i = \max_{J \neq i}(B(i,j,k)), \quad (2)$$

где *i, j* – порядковые номера объектов в рассматриваемом множестве;

B(i,j,k) – логическая функция, показывающая, совпадают ли значения характеристик объектов, вычисляется по формуле:

$$B(i,j,k) = \begin{cases} 1, X_i^k = X_j^k, \\ 0, X_i^k \neq X_j^k \end{cases} \quad (3)$$

Среди имеющихся характеристик объектов недвижимости количественными являются: площадь объекта, его стоимость, степень схожести описания и фотографий. Качественными: адрес объекта и телефон автора объявления.

Выбор алгоритмов для экспериментальных исследований

Задача поиска дублирующих объявлений является задачей классификации, для решения которой широко применяются такие методы, как: нейронные сети, деревья решений, регрессионные модели.

Нейронная сеть — это система соединенных и взаимодействующих между собой простых процессоров (искусственных нейронов). Будучи соединёнными в достаточно большую сеть с управляемым взаимодействием, эти процессоры вместе способны выполнять довольно сложные задачи, поскольку нейронные сети обучаются в процессе работы. [3]

Метод деревьев решений является одним из наиболее популярных методов решения задач классификации и прогнозирования. При анализе решений «дерево решений» используются как визуальный и аналитический инструмент поддержки принятия решений, где рассчитываются ожидаемые значения (или ожидаемая полезность) конкурирующих альтернатив. [4]

Логистическая регрессия –метод построения линейного классификатора, позволяющий оценивать апостериорные вероятности принадлежности объектов классам. Логистическая регрессия полезна для ситуаций, в которых вы хотите иметь возможность предсказать наличие или отсутствие характеристики или итога на основании значений набора переменных - предикторов. [5]

Экспериментальные исследования

Для выбора наиболее подходящего алгоритма классификации необходимо провести экспериментальные исследования на реальных данных. Для этого, была использована платформа «Deductor Studio», позволяющая проводить всесторонний анализ данных.

На первоначальном этапе данные по объектам недвижимости были приведены к виду, представленному на рисунке 1. Для всех значений характеристик всех объектов были рассчитаны коэффициенты совпадения.

Адрес	Площадь	Количество столбцов	Этаж	Телефон	Описание	Фото	Стоимость	Подлинность
1	0,922053232	1	0	1	0,4	0,08	0,271136412	☐
1	0,75	1	0	0	0,2	0,07	0,37944664	☐
1	0,618757613	0	0	0	0,7	0,05	0,275136727	☐
1	1	1	1	1	1	1	1	☐
1	1	1	1	1	1	1	1	☐
1	1	1	1	1	1	1	1	☐
1	1	1	1	1	1	1	1	☐
1	1	1	1	1	1	1	1	☐
1	1	1	1	1	1	1	1	☐
1	0,99	1	1	1	0,99	1	1	☐
1	0,95	1	1	1	0,9	1	0,9	☐
1	0,91	1	1	1	0,95	0,9	0,9	☐
1	0,92	1	1	1	0,92	0,95	0,95	☐
1	0,9	1	1	1	0,9	0,9	0,9	☐
1	0,75	1	1	1	1	1	1	☐
1	0,9	1	1	1	1	1	1	☐
1	0,95	0	1	1	0,91	0,95	0,92	☑
1	0,92	0	1	1	0,97	0,91	0,95	☑
1	0,93	0	1	1	0,96	0,99	0,95	☑
1	0,94	0	1	1	0,97	0,91	0,96	☑
1	0,97	0	1	1	0,91	0,93	0,91	☑

Рис. 1 – Входные данные для классификации (фрагмент)

В результате необходимо определить, является ли рассматриваемое объявление подлинным. В таблице 1 представлены результаты работы трех различных алгоритмов классификации: искусственной нейронной сети, дерева решений и логистической регрессии.

Таблица 1- Таблица сопряженности

	Искусственная нейронная сеть		Деревья решений		Логистическая регрессия	
	Правда	Ложь	Правда	Ложь	Правда	Ложь
Правда	173	-	167	6	169	3
Ложь	-	24	6	18	4	21
Вероятность верной классификации	100%		93,9%		96,44%	

В результате экспериментов, было выявлено, что наиболее точный и верный результат формирует искусственная нейронная сеть, к тому же данный алгоритм имеет возможность адаптироваться к изменениям входных данных. Деревья решений и логистическая регрессия не удовлетворяют заявленным требованиям так как не всегда правильно классифицируют данные, при этом небольшие изменения во входных данных приводят к потере точности результата.

Выводы

В работе была рассмотрена проблема дублирования на веб-сайтах с недвижимостью. Предложены алгоритмы классификации данных (искусственные нейронные сети, деревья решений, логистическая регрессия), для применения которых были предварительно обработаны данные. В результате проведения экспериментов было выявлено, что наиболее точный результат формирует искусственная нейронная сеть, следовательно, данный алгоритм подходит для решения поставленной задачи.

Список литературы

1. *Ферцев А.В.* Реализация нейронной сети для распознавания изображений с помощью технологии NVIDIA CUDA // Litres, 2017. - 322 с.;
2. *Груздев А.А.* Прогнозное моделирование в IBM SPSS Statistics, R и Python. Метод деревьев решений и случайный лес // ДМК Пресс, 2017. – 634 с.;
3. *Емельянов С.В.* Искусственный интеллект и принятие решений. Методы рассуждений и представления знаний. приобретение знаний. интеллектуальные системы и технологии. Анализ решений // Едиториал УРСС, 2014. – 112 с.;
4. *Тархов Д.А.* Нейросетевые модели и алгоритмы // Радиотехника, 2014. – 352 с.
5. *Каллан Р.* Основные концепции нейронных сетей // Вильямс, 2003. – 288 с.

05.13.01

Д.А. Селиванова, Ф.А. Попов д-р техн. наук, М.Н. Школьникова д-р техн. наук, О.А Бубарева канд техн. наук

Бийский технологический институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования
«Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»,
технологический факультет, кафедра методов и средств измерений и автоматизации,
кафедра биотехнологии
Бийск, sda@bti.secna.ru

РЕЗУЛЬТАТЫ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ НАПИТКОВ

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-5-253-255

В работе приведены особенности и результаты реализации системы автоматизированного проектирования функциональных безалкогольных напитков из растительного сырья, в качестве одной из основных отмечено использование для хранения всех видов данных процесса проектирования единого интегрированного хранилища. Приведена структура системы, представлен пример расчета средствами системы рецептуры бальзамного сиропа для коррекции зрения.

Ключевые слова: *продукты питания, автоматизация процесса проектирования рецептуры, система автоматизированного проектирования.*

Растущая потребность в продуктах здорового питания, в том числе функционального назначения, разнообразие региональных растительных ресурсов и недостаточная насыщенность рынка автоматизированными информационными системами (АИС) для расчета рецептур продуктов питания актуализируют вопрос разработки системы автоматизированного проектирования многокомпонентных функциональных напитков (САПР). Разработка рассматриваемой САПР осуществлялась с учетом недостатков существующих АИС и обеспечивает расчет и оптимизацию рецептур напитков функционального назначения [1, 2].

САПР разработана с учетом требований: использование клиент-серверной архитектуры; использование для хранения всех видов данных единого интегрированного хранилища; сохранение промежуточных и итоговых результатов проектирования рецептур; автоматизированный выбор математической модели для расчета рецептур; оптимизация рецептур по совокупности заданных критериев и ограничений; формирование результатов расчета в форме стандартных отчетов; организация взаимодействия с пользователем через посредство профессионально ориентированного интерфейса; возможность обеспечения доступа к системе через посредство различных терминальных устройств, в том числе мобильных.

В составе САПР можно выделить: информационное, математическое и программное обеспечение.

Информационное обеспечение представлено следующим комплексом баз данных (БД): технические задания (исходные требования) на разработку рецептур продуктов питания (ПП); характеристики основных и вспомогательных ингредиентов (возможных компонентов) продуктов; известные рецептуры продуктов питания (база данных прототипов); база проектов, находящихся в стадии разработки; нормативные документы, регламентирующие требования к качеству и безопасности конкретного ПП; различные справочники и сборники рецептур; монографии и научные публикации, отражающие современное состояние исследований по данному вопросу.

В рассматриваемом частном случае расчета рецептуры многокомпонентного напитка функционального назначения математическая модель представляет собой формализацию оптимизационной задачи по выбранному ограничению. В общем виде процесс построения математической модели состоит из отдельных последовательно выполняемых этапов: выбора вида разрабатываемого продукта (объекта проектирования), определения цели исследования, выбора критерия оптимальности, выявления неизвестных и основных ограничений, математической формализации.

Программное обеспечение включает в себя функциональные приложения перечисленных БД, а также результат реализации алгоритма проектирования, основанный на использовании методов работы с данными и математического моделирования. Пользовательский интерфейс позволяет эффективно управлять процессом проектирования с использованием различных устройств, в т.ч. мобильных, представлять информацию о его текущем состоянии и прогнозируемых результатах в удобном и наглядном виде. Общая структура функционирования САПР представлена на рисунке 1.

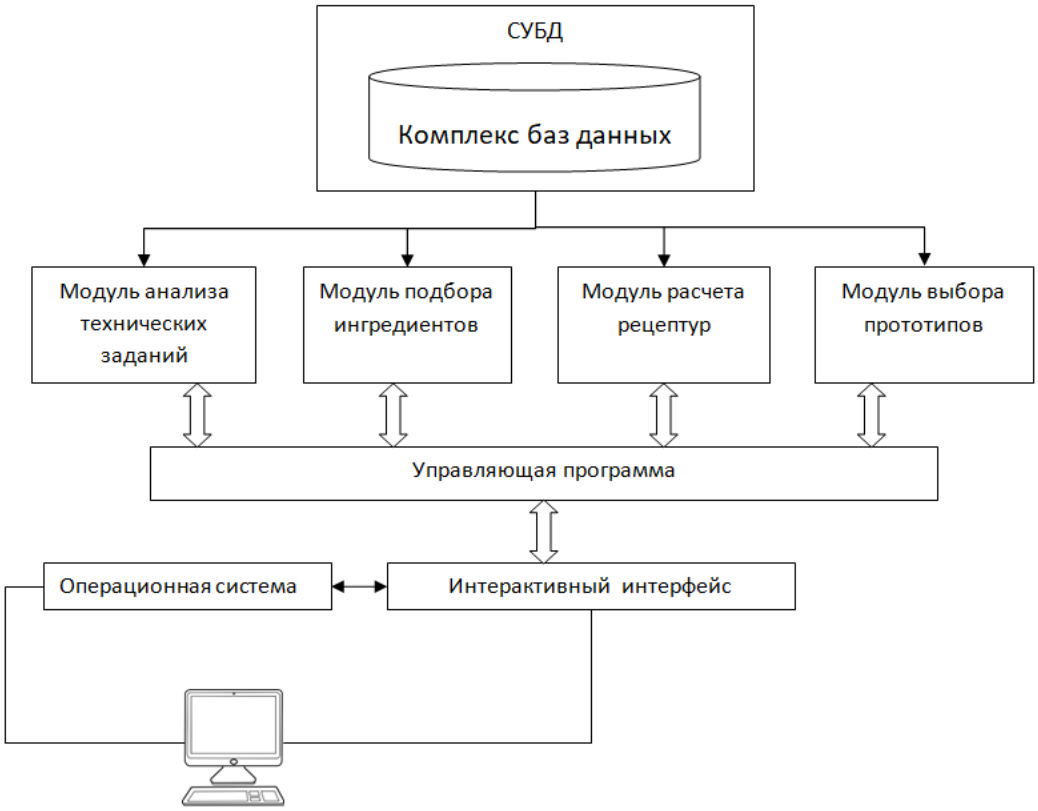


Рис. 1 – Общая структура функционирования САПР

Рассмотрим алгоритм подбора рецептурных компонентов на примере бальзамного сиропа для коррекции зрения. На первом этапе существляется определение функциональной направленности, ввод критериев и ограничений. Затем выборка из БД растительного сырья по содержанию в нем биологически активных веществ (БАВ). На рисунке 2 представлена копия окна пользовательского интерфейса, отражающего химический состав, доступность и стоимость необходимого сырья.

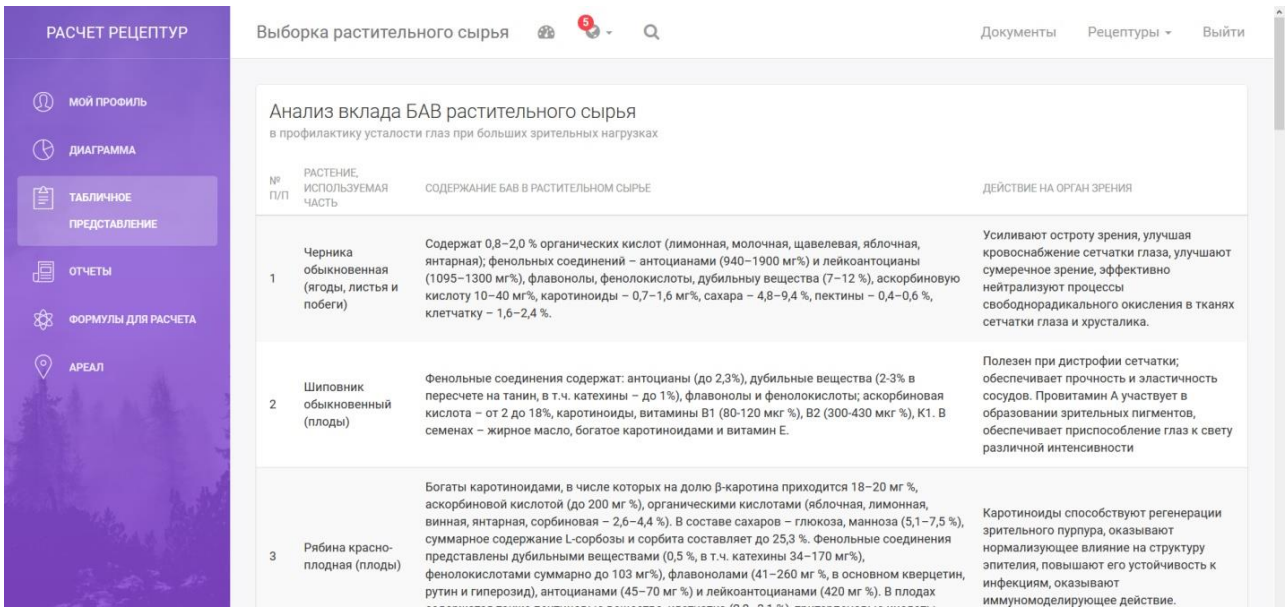


Рис.2 – Табличное представление характеристик составляющих ингредиентов

После анализа химического состава, наличия в растениях веществ-синергистов, коэффициентов сочетаемости сырья, доступности и стоимости высушенного растительного сырья происходит формирование состава композиции многокомпонентного функционального напитка.

На основе приведенного алгоритма был произведен подбор рецептурных компонентов многокомпонентного сиропа для коррекции зрения [3]. В ходе анализа химического состава подобранного растительного сырья и назначения других компонентов составлена матрица функциональной направленности рецептуры разрабатываемого бальзамного сиропа, позволяющая определить БАВ, действие которых слагается по однотипному влиянию на организм человека. Обработкой матриц в САПР получен профиль функциональной направленности разрабатываемых рецептур бальзамного сиропа.

Список литературы

1. *Школьникова, М.Н.* Автоматизированные информационные системы подбора рецептур пищевых продуктов / М.Н. Школьникова, Д.А. Наумова // Сборник научных статей и докладов II Международной научно-практической конференции (заочной). – Воронеж: Издательско-полиграфический центр «Научная книга», 2016. – С.139-141.

2. *Popov, F.A.* Principles of computer-aided design of multi-component food products / *F.A. Popov, M.N. Shkol'nikova, D.A. Naumova* // Information Innovative Technologies: Materials of the International scientific – practical conference. /Ed. Uvaysov S. U., Ivanov I.A. – M.: Association of graduates and employees of AFEA named after prof. Zhukovsky, 2017. – P. 79–82.

3. Патент РФ 2632958 Сироп бальзамный для профилактики потери остроты зрения / М.Н. Школьникова, Е.В. Аверьянова; МПК A23L 33/105; 33/125; 2/52; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «Алтайский гос. техн. ун-т им. И.И. Ползунова». – № 2015145041; заявл. 20.10.2015; опубл. 11.10.2017, Бюл. № 29. – 2 с.

05.13.01

Ю.С. Тарасова [1], В.В. Андреев [2] д-р техн. наук, Е.А. Мартемьянова [1]

[1] ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»,
Факультет архитектуры и дизайна, кафедра промышленного дизайна,
Нижний Новгород, tar06@list.ru, van-gog88@mail.ru
[2] ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет
им. Р.Е. Алексеева»,
Институт ядерной энергетики и технической физики,
кафедра «Ядерные реакторы и энергетические установки»,
Нижний Новгород, vyach.andreev@mail.ru

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВИЗУАЛЬНОЙ МАССЫ ДОМИНИРУЮЩИХ ЦВЕТОВЫХ СОЧЕТАНИЙ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА КВАЗИПРОСТРАНСТВЕННОЙ МОДЕЛИ

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-5-256-259

В статье рассматривается методика прогнозирования распределения показателей визуальной массы доминирующих цветовых сочетаний на основе анализа данных, полученных путем машинной обработки заполненных тестовых форм, имеющих вид квазипространственной модели. Модель лежит в основе методики профориентационного тестирования «Ассоциативное цветовое пространство» ©, представляющей собой универсальный инструмент для определения типа индивида, характеризующей индивидуальный стиль деятельности (ИСД), темперамент, предпочтительные сферы деятельности конкретного реципиента.

Ключевые слова: *визуальная масса, доминирующая цветовая гамма, квазипространственная модель, типы индивидов, прогнозирование, профориентация.*

Сегодня профориентационная деятельность осуществляется путем применения различных методик, направленных на выявление и оценку тех или иных критериев и характеристик испытуемого. Каждая методика (тест) характеризует выбранную черту, особенность личности, или предрасположенность человека к конкретному роду деятельности.

В случае применения единственной выбранной методики не всегда возможно формулирование однозначного вывода относительно наиболее предпочтительной для конкретного индивида сферы будущей профессиональной деятельности, так как диапазон критериев в рамках одной выбранной методики может быть предельно узок.

Методика профориентационного тестирования «Ассоциативное цветовое пространство» ©, направлена на выявление и оценку индивидуального стиля деятельности (ИСД).

Индивидуальный стиль деятельности (ИСД) является системой отличительных признаков деятельности конкретного человека, обусловленной его индивидуально-личностными особенностями. Проявления ИСД: устойчиво повторяющие способы деятельности, особенности организации труда, качественные особенности готового продукта, внутрисубъективные особенности ИСД (типичные стратегии деятельности, особенности функционирования, присваивание компонентам деятельности разной степени значимости, уникальность форм сознательного контроля и саморегуляции). В отечественной психологии проблема стиля деятельности рассматривается с 50-х гг. XX в. в работах В. С. Мерлина, Е. А. Климова др. [1].

На основе методики профориентационного тестирования «Ассоциативное цветовое пространство» выведено пять типов индивидов с учетом особенностей ИСД в творческой среде: «творческий», «рациональный», «скептический», «авангардный» и «смешанный». Внутри каждого типа существует два подтипа, исключая «смешанный» и «рациональный». «Творцы» подразделяются на «контрастный» и «неконтрастный» подтипы. «Скептики» бывают «насыщенные» и «ненасыщенные». «Рациональный» тип имеет три подтипа («холодный», «теплый», «средний»), «смешанный» тип не имеет подтипов.

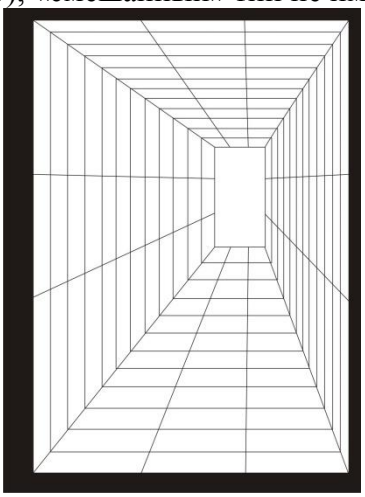


Рис. 1 – Квазипространственная модель

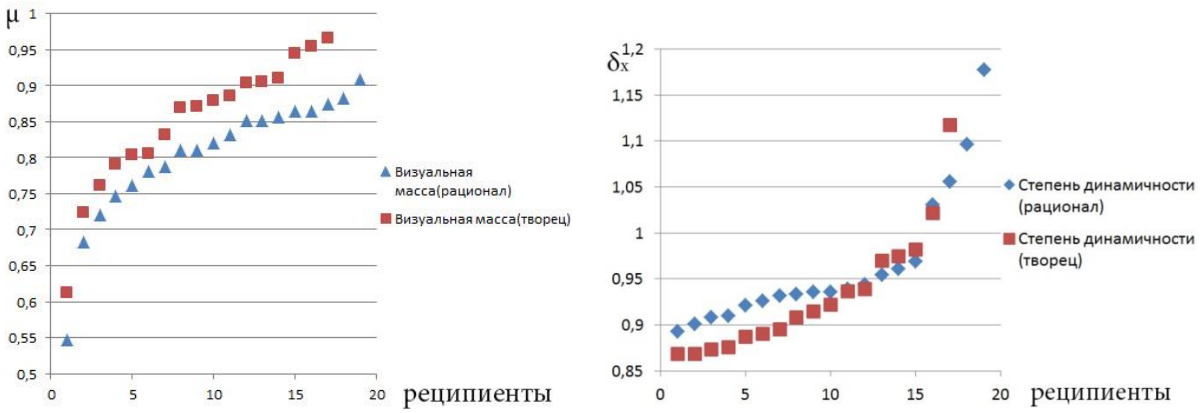
Методика тестирования «Ассоциативное цветовое пространство» © предполагает работу реципиента с квазипространственной моделью тестовой формы (см. рисунок 1). Тестовая форма представляет собой линейное изображение четырехгранного пространства, имеющего перспективные искажения и разделенного на сектора. Каждая грань, образующая квазипространственную модель, насчитывает 3 грани по ширине и 12 граней по высоте. Данная форма заполняется цветом в соответствии с предложенной ассоциацией, полученное изображение проходит обработку и анализ человеком, затем – компьютером. Оценка заполненной тестовой формы происходит в три этапа: оценка цветового диапазона с выводом цветовой карты, оценка целостности структуры и оценка характерных кластеров изображения.

В будущем планируется полный перевод процесса тестирования в форму компьютерной программы.

Опираясь на исследования кафедры Промышленного дизайна ФАиД ННГАСУ, посвященные зрительному восприятию, были измерены такие характеристики как визуальная масса и степень динамичности заполненных реципиентами тестовых форм, что позволило уточнить и упорядочить результаты тестирования, полученные путем зрительного анализа квазипространственной модели человеком. Прогнозирование распределения данных характеристик позволяет свести к минимуму определения типа индивида как «смешанный», с большей точностью определить тип индивида, включая подтип, расширить диапазон измеряемых характеристик. Так, визуальная масса изображения μ является производной от таких характеристик как κ – коэффициент, учитывающий особенности зрительного восприятия, l – периметр, λ – доминирующая длина волны в спектре, ρ – коэффициент отражения, α – угол наклона главной динамической оси элемента относительно принятых осей координат, s –площадь, x, y – координаты пикселей изображения, и выражается следующей функцией:

$$\mu = f(\kappa; l; \lambda; \rho; \alpha; s; x; y)$$ [3], [4].

Путем обработки тестовых форм программой Design Professional Analization (DPA) [5] были получены значения визуальной массы μ и степени динамичности δ_x для наиболее выраженных представителей типов «рационал» и «творец». Данные типы выбраны как самые распространенные за период пятилетней апробации методики тестирования. Диаграммы зависимости визуальной массы (μ) и степени динамичности (δ_x) представлены на рисунке 2.



а) б)

Рис. 2 – Диаграммы распределения показателей а – визуальной массы (μ), б – степени динамичности (δ_x) для выборки групп «творческого» и «рационального» типов

Анализ диаграмм позволил сформулировать ряд выводов и вывести закономерности распределения показателей для визуальной массы (μ) и степени динамичности (δ_x):

1. Визуальная масса тестовой формы, заполненной «творцом», имеет большее значение в сравнении со средними показателями «рационала».

2. Степень динамичности тестовой формы, заполненной «творцом», имеет меньшее значение в сравнении со средними показателями «рационала», что объясняется наличием шахматной структуры, «пробелов» в плоскости однородной визуальной массы.

3. Пункты 1 и 2 свидетельствуют о наличии обратной пропорциональной зависимости между показателями визуальной массы μ и степени динамичности δ_x «творцов» и «рационалов».

4. «Выраженный» творец находится в интервале показателей $\mu > 0,9$, творец+рационал – в интервале $\mu = 0,8\text{-}0,9$, «выраженный» рационал – в интервале $\mu < 0,8$.

Полученные выводы относятся к третьему этапу оценки тестовой формы. Программа Design Professional Analization (DPA) позволяет оценить не только визуальную массу изображения, переведенного в градации серого, но и цветного.

Предшествующее исследование характеризует структуру и суммарную визуальную массу тестовой формы, исследование же цветового массива, в частности – характерных цветовых гамм, позволит уточнить выводы относительно показателей визуальной массы и проанализировать особенности цветовых предпочтений представителей каждой выделенной группы.

Визуальная масса цвета – наиболее емкая характеристика, представляющая интерес в данном исследовании. Она характеризует цвет, форму, ориентацию, местоположение и удаление предмета на плоскости [3], [4].

Цветовая карта содержит несколько точек, имеющих координаты системы CMYK, где C – циан/cyan, M – маджента/magenta, Y – желтый/yellow, K – черный/key и RGB, где R – красный/red, G – зеленый/green, B – синий/blue. Для исследования выбрана система CMYK.

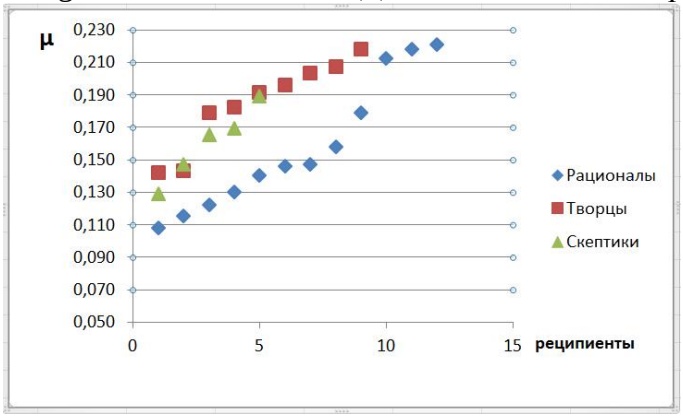


Рис. 3 – Диаграмма распределения совокупной визуальной массы доминирующей цветовой гаммы

Помимо характерного расположения пятен по возрастанию-убыванию или распределению визуальной массы, представители того или иного типа выбирают и характерные сочетания цветов для заполнения тестовой формы. Последние являются объектом исследования, приведенном в статье.

Для построения диаграммы (см. рисунок 3) было выделено 28 наиболее выраженных представителей таких типов как «творец», «рационал» и «скептик».

По результатам анализа визуальной массы доминирующих гамм сформулированы следующие выводы:

1. Визуальная масса доминирующей гаммы «творцов» выше аналогичной характеристики «рационалов» и «скептиков», исключая группу подтипа «средних рационалов».

2. «Рационалы» «холодного» и «теплого» подтипов имеют значительно более низкие показатели для распределения визуальной массы доминирующих цветовых гамм.

3. Для распределения показателей визуальной массы доминирующей гаммы выделены следующие диапазоны: «творцы» $\mu = 0{,}14 – 0{,}22$; «рационалы» «холодного» и «теплого подтипов» $\mu < 0{,}2$, $0{,}11 – 0{,}19$; «рационалы» «среднего» подтипа $\mu > 0{,}2$; «скептики» $\mu < 0{,}2$, $0{,}13 – 0{,}19$.

В дальнейшем, прогнозирование распределения визуальных масс доминирующих цветовых гамм позволит выявлять степень вероятности вывода того или иного типа в процентном соотношении уже на первом этапе анализа тестовой формы. На основе данного исследования авторами разрабатывается трехмерная цветовая карта, имеющая в своей основе цветовую модель CMYK, с добавлением показателей визуальной массы для каждого цвета, составляющего доминирующую цветовую гамму, что даст возможность осуществления еще более точной профориентационной диагностики.

Список литературы

1. *Григорьева, М.В.* Психология труда. Конспект лекций [Текст] / М.В. Григорьева. – М.: Высшее образование, 2006. – 192 с.

2. *Пряжникова, Е. Ю.* Профориентация : учеб. пособие для студ. учреждений высш. проф. образования [Текст] / Е. Ю. Пряжникова, Н. С. Пряжников. – М.: Издательский центр «Академия», 2013. – 496 с.

3. *Шаповал, А.В.* Отечественная экспериментальная эстетика в постиндустриальный период: монография / А.В. Шаповал. – Нижний Новгород: ННГАСУ, 2009. – 167 с.

4. *Шаповал, А.В.* Теория формальной композиции: учебное пособие для вузов / А.В. Шаповал. – Казань: «Дизайн-квартал», 2016. – 175 с.

5. *Шаповал, А.В.* Метод количественной оценки системой технического зрения значений интегративных признаков объектов хроматического изображения предметно-пространственной среды [Текст] / А.В. Шаповал, Е.А. Мартемьянова // Журнал «Приволжский научный журнал». – Н. Новгород. – 2017. – №1. – С. 69-75.

05.13.10

А.В. Трусов д-р техн. наук, А.А. Кольчурин

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
электротехнический факультет, кафедра микропроцессорных средств автоматизации,
Пермь, tav@permcnti.ru, colchurin@yandex.ru

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ СИСТЕМЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ НАУЧНОГО И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ ТЭК

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-5-260-263

В работе рассматривается система информационной поддержки научно-технологического развития отраслей топливно-энергетического комплекса. Разработана модель информационной поддержки. Предложены направления использования системы информационной поддержки.

Ключевые слова: *информационная поддержка, научно-технологическое развитие ТЭК, инновационные технологии, научно-техническая информация.*

Топливно-энергетический комплекс (ТЭК) Российской Федерации является основой экономики страны, обеспечивая жизнедеятельность всех отраслей хозяйства, консолидацию регионов страны в единое экономическое пространство, формирование значительной части бюджетных доходов и валютных поступлений. От результатов деятельности ТЭК зависят, в конечном счете, платежный баланс страны, поддержание курса рубля и степень снижения долгового бремени России. ТЭК – важнейшее звено в цепи преобразований, связанных с переходом к рыночной экономике.

Необходимо учитывать, что эффективное развитие ТЭК, являющегося потребителем материалов, веществ, технологий, оборудования и т.п., находится в зависимости от производителей (создателей) этой продукции, именно поэтому система информационной поддержки научного и технологического развития ТЭК в большей степени нацелена на выявление инновационных (научно-технических) заделов (в рамках всего жизненного цикла создания продукции, от идеи до серийного производства) в промышленности, научно-исследовательских организациях и высших учебных заведений, большая часть которых находится в регионах Российской Федерации[1].

В общем случае система информационной поддержки научно-технического развития отраслей ТЭК нацелена на решение следующих основных информационно-аналитических задач [2,3]:Информационно-аналитическое обеспечение научно-технического развития ТЭК; Внедрение инновационных технологий и современных материалов в отраслях ТЭК; Информационно-аналитические обзоры развития промышленности и топливно-энергетического комплекса регионов России; Оценка перспектив развития инновационных территориальных кластеров в области внедрения инновационных разработок. Отсюда следует, что система информационной поддержки развития отраслей топливно-энергетического комплекса (рис.1) должна решать задачи сбора, хранения и обработки информации о реализации инновационных проектов в нефтегазовом комплексе, в электро и теплоэнергетике, должна иметь возможность осуществлять поддержку этих проектов информационными ресурсами, как специализированных фактографических информационных систем государственной системы научно-технической информации, так и информационными ресурсами документальных информационных систем глобальной сети интернет.

Система информационной поддержки научного и технологического развития отраслей ТЭК, в первую очередь, нацелена на формирование прогнозов научно-технического развития и определение приоритетных направлений технологического развития в энергетике Российской Федерации.

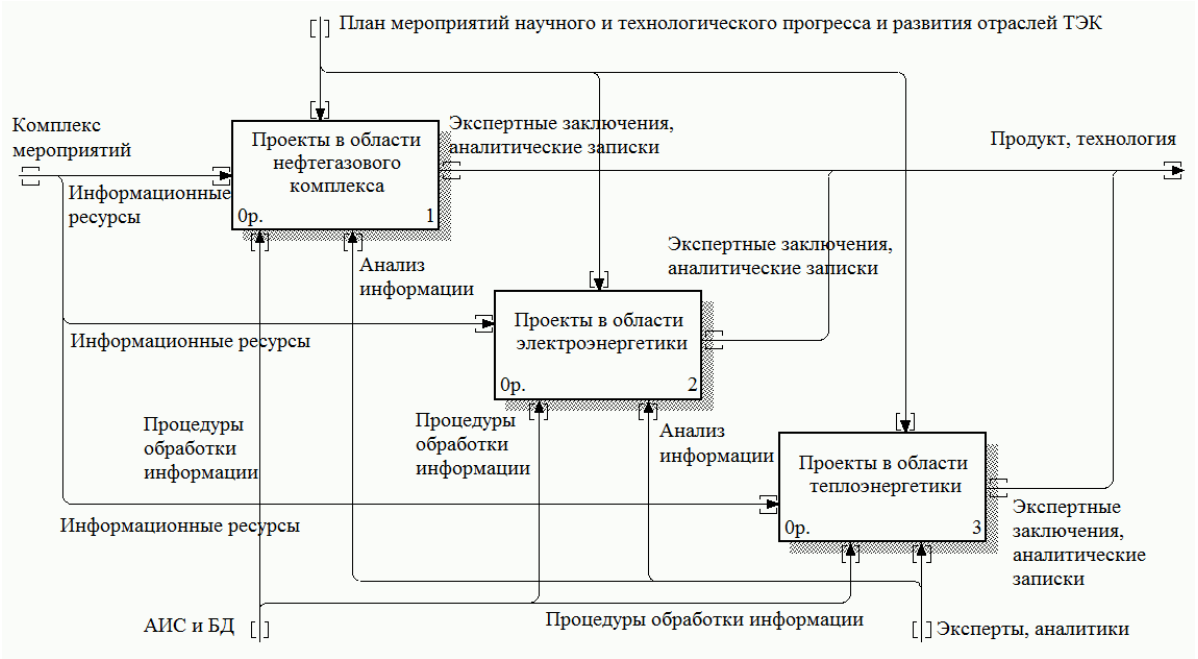


Рис.1 – Модель системы информационной поддержки научного и технологического развития ТЭК

Важнейшими объектами информационной поддержки являются инновационные проекты нефтегазового комплекса (рис.2), обеспечивающих проведение прикладных и фундаментальных работ по основным направлениям развития перспективных энергетических технологий, проекты по внедрению инновационных технологий и современных материалов.



Рис.2 –Модель информационной поддержки инновационных проектов в нефтегазовом комплексе

Требует серьезного информационного сопровождения процессы разработки и внедрения крупных опытно-промышленных установок в области добычи и переработки углеводородного сырья, а также реализации пилотных проектов в нефтегазовом комплексе.

Внедрение инновационных проектов в области электроэнергетики (рис.3) предусматривает поиск и обработку информации по проектам в области создания высоко интегрированных интеллектуальных системообразующих и распределительных электрических сетей нового поколения; проектам экологически чистого высокоэффективного производства электроэнергии, а также проектам в области создания интеллектуальных энергетических систем.



Рис.3 -Модель информационной поддержки инновационных проектов в области электроэнергетики

Информационная поддержка инновационных проектов в теплоэнергетике (рис.4) обеспечивает обработку информации по проектам в области создания высокоэффективных угольных и парогазовых энергоблоков по выработке тепловой энергии, в том числе выработке экологически чистого высокоэффективного производства тепла. Осуществляется поддержка проектов по внедрению и модернизации оборудования по выработке тепловой энергии.

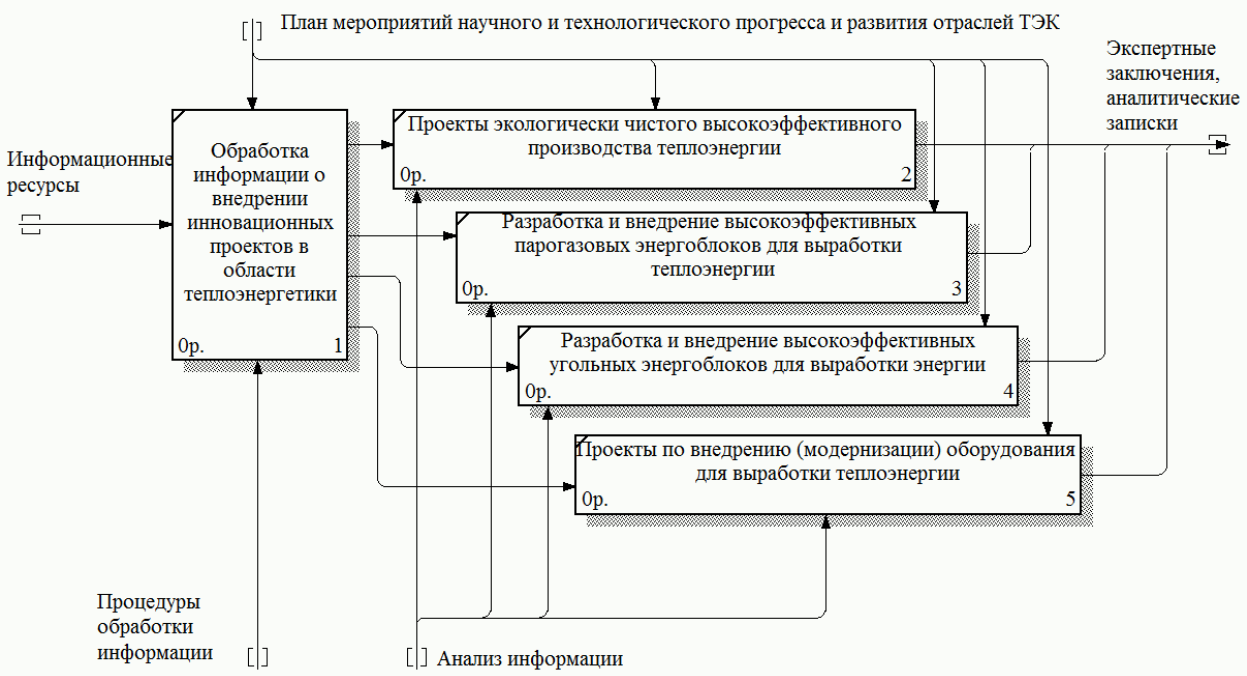


Рис.4 -Модель информационной поддержки инновационных проектов в области теплоэнергетики

Предлагаемая модель обеспечивает:

– организацию информационной системы (среды, контура) информационного взаимодействия федеральных и региональных органов государственной власти, органов местного самоуправления и бизнеса по реализации государственной промышленной и инновационной политики;

– организацию доступа к отечественным и международным массивам научно-технической информации, к фондам патентной информации и нормативно-технической документации промышленным предприятиям, научно-исследовательским организациям и учебным заведениям в регионах Российской Федерации;

– организацию и ведение специализированных баз данных (о результатах промышленного и инновационного развития регионов РФ, о инновационных и инвестиционных проектах в промышленности и ТЭК, о типовых проектах применения технологий, о перспективных результатах интеллектуальной деятельности, о энергосберегающих технологиях, возобновляемых и альтернативных источниках энергии, и т.д.);

– ведение мониторинга за реализацией в регионах Российской Федерации федерального закона об энергосбережении и реализацией федеральной и региональных программ в области энергосбережения;

– планирование технических и технологических изменений на основе мониторинга инновационных технологий ведущих мировых компаний;

– информационное обеспечение в проведение экспертизы и ведения расследований.

Создание системы информационной поддержки научного и технологического развития ТЭК позволит отрабатывать наиболее эффективные схемы деятельности в реализации научно-технической, промышленной и информационно-технологической политики, оценке и выработке решений по нейтрализации проблем социальной, экономической, технологической и информационной безопасности страны.

Список литературы

1. *Трусов А.В., Трусов В.А*. Система информационно-аналитического мониторинга инновационного развития промышленности и энергетики регионов Российской Федерации // Научно-практический журнал /Информационные ресурсы России.-2013г №6(136). с17-21.

2. *Трусов А.В.* Формирование системы информационно-аналитического обеспечения научно-технического развития // Научно-практический журнал /Информационные ресурсы России. -2015. -№3 (145) с.10-16.

3. *Трусов В.А.* Механизмы реализации системы информационно-аналитической поддержки научно-технологического развития отраслей ТЭК // Информационные ресурсы России. 2017. № 4 (158). С. 2-5.

05.13.06

Ш.А. Хамадеев канд. техн. наук, А.Н. Илюхин канд. техн. наук

Казанский федеральный университет, Набережночелнинский институт,
кафедра информационных систем,
Набережные Челны, shamil.hamadeev@mail.ru

МЕТОДИКА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ НА ОСНОВЕ ПРЕЦЕДЕНТОВ ПО УСТРАНЕНИЮ НЕСООТВЕТСТВИЙ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ПОЛИАМИДНЫХ ТРУБОК

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-5-264-266

В статье рассмотрена проблема управления знаниями по несоответствиям в ходе реализации технологических процессов производства полипропиленовых трубок. Для решения предлагается применение прецедентного подхода. Структура прецедентов основана на иерархии диаграмме Исикавы и номенклатуре изделий. Результатами работы являются трехуровневая структура базы знаний, модель прецедента, модели процессов добавления нового прецедента и поиска прецедента в базе знаний, алгоритм кластеризации прецедентов.

Ключевые слова: *база знаний, прецедентный подход, управление качеством, кластеризация, диаграмма Исикавы*.

В рамках этапа подготовки производства при включении в производственный план нового изделия инженерам требуется прогнозировать все возможные проблемы, которые могут возникнуть в процессе его производства. Данная задача является нетривиальной, так как требует анализа большого числа потенциальных причин, влияющих на качество изготавливаемого изделия, что является труднореализуемым при ручном режиме обработки исходных данных.

С целью повышения эффективности устранения производственных проблем предлагается база знаний в соответствии с методикой поддержки принятия решений на основе прецедентов [2]. Под прецедентом (Use Case) в данной работе понимается кластер, содержащий в себе правила для принятия решения по устранению схожих производственных проблем у схожих изделий [2].

Прецедент будет содержать в себе информацию о нескольких проблемах и обо всех изделиях, с которыми вероятнее всего могут произойти эти проблемы. Пример структурного представления прецедента изображен на рисунке 1. В основе представления лежит иерархическая структура диаграммы Исикавы [3], входящей в состав «семи базовых инструментов управления качеством».

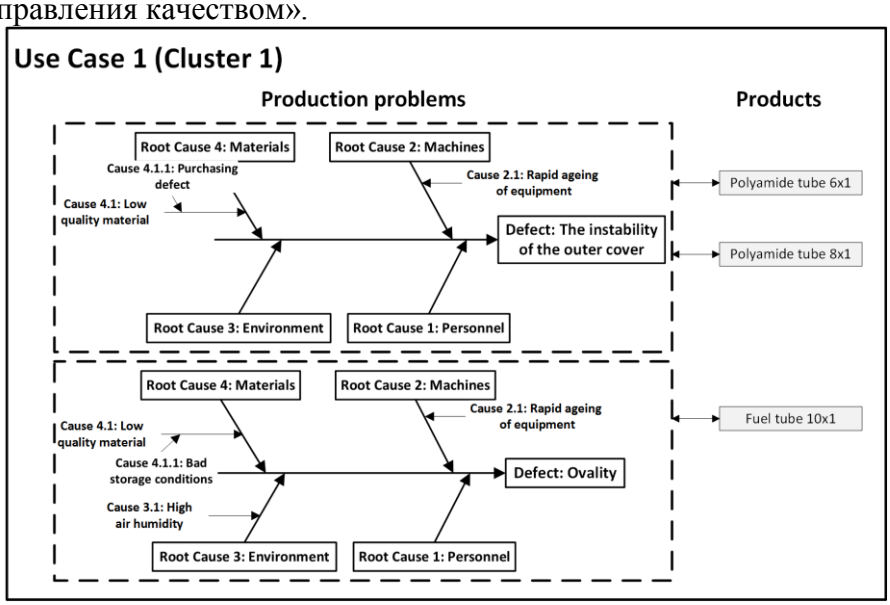


Рис. 1. Пример структуры прецедента

На основе анализа предметной области была разработана общая структура формирования базы знаний по прецедентам, представленная на рисунке 2 [1].

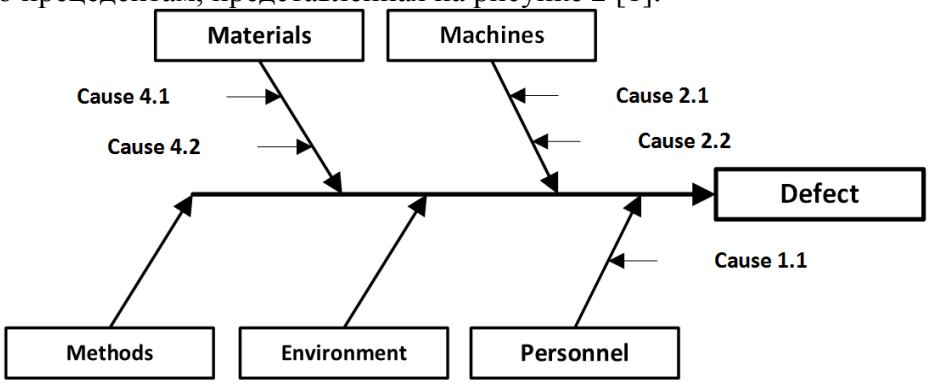


Рис. 2. Пример структуры диаграммы Исикавы

Таким образом, структуру описания проблем можно представить следующими уровнями иерархии:

– производственная проблема (PP), каждую проблему может вызвать ряд общих причин;

– фактор (RC) возникновения производственных проблем, каждый фактор содержит в себе ряд причин;

– причина (C), может характеризовать появление проблемы на низшем уровне, или же состоять из ряда более конкретных характеристик (подпричин).

Проблемы могут возникнуть у ряда изделий (Pr) или услуг, которые в свою очередь описываются набором характеристик (SPC).

Группировку прецедентов в базе (PB) предлагается организовать аналогичным способом — разделять общие причины на более конкретные составляющие в соответствии со структурой PP.

Производственные проблемы являются пересекающимися множествами, так как конкретные PP могут иметь одинаковые вызвавшие их причины, которые и определяют их пересечение.

В свою очередь, каждый RC представляет собой множество C. Подпричины также являются пересекающимися подмножествами. Аналогично происходит разбиение всей PB на всех уровнях PP. Таким образом, множество всех значений, хранящихся в PB, можно организовать подобным образом, где каждый конкретный вектор значений представляет собой элемент подмножества. Исходные данные представлены на рисунке 3.

PP	RC	C	Pr	SPC
Name of production problem	Factors (Root causes)	Causes	Products that can have relation with problems	Product specifications

Рис. 3. Таблица исходных данных

Параметры и значения структурных элементов таблицы исходных данных для каждого предприятия являются уникальными в зависимости от характера деятельности.

Прецедент включает в себя следующую информацию:

– заголовок;

– таблицу условий;

– таблицу решений.

Заголовок представляет собой имя прецедента. Таблица условий содержит описание входных параметров (таблица исходных данных) и содержит следующие поля: наименование условия и их значения. Таблица решений представляет данные по выходным параметрам прецедента — ранжированный список причин производственной проблемы.

Можно выделить два основных режима работы базы прецедентов:

– наполнение базы прецедентов (создание новых прецедентов);
– использование базы прецедентов.

Создание прецедентов выполняется при отсутствии подходящего прецедента при поиске. Процесс наполнения представлен в виде диаграммы BPMN2 на рисунке 4.

На рисунке 5 представлен процесс использования базы прецедентов.

Для повышения эффективности поиска прецедентов в базе было предложено их кластерное разбиение на основе алгоритма CLOPE [5].

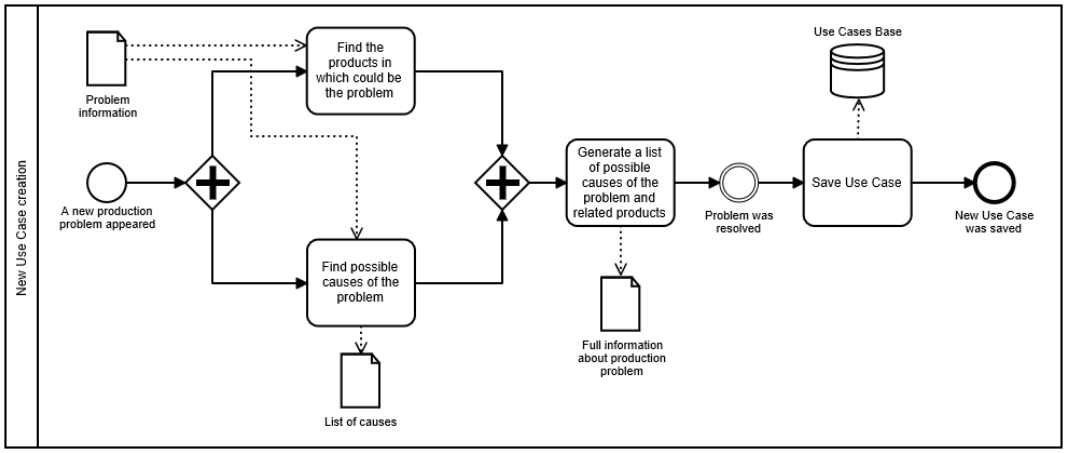


Рис. 4. Процесс создания нового прецедента

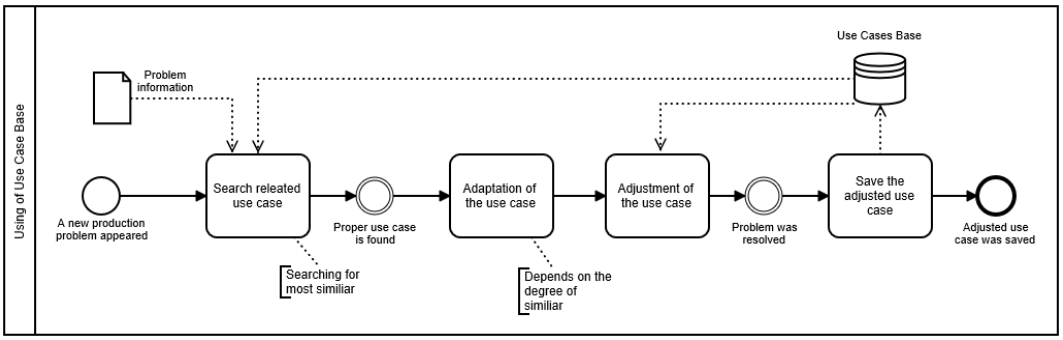


Рис. 5. Процесс использования прецедента

Реализация базы знаний, интегрированной с информационную систему предприятия, позволит сократить затраты на качество, уменьшить сроки технологической подготовки производства, оперативно устранять проблемы, возникающие в процессе производства, снижать себестоимость выпускаемой продукции.

Список литературы

1. *Valiev R.A., Khairullin A.Kh., Shibakov V.G.*. Automated Design Systems for Manufacturing Processes // Russian Engineering Research, 2015. – №35(9). – p. 662–665.

2. *Хамадеев Ш.А., Симонова Л.А., Илюхин А.К*. База прецедентов технологических маршрутов штамповочного производства в рамках MES-систем // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. 2009. №8. С. 29–35.

3. *Лысенко Д.Э.* Автоматизированный синтез моделей технологических процессов на основе прецедентного подхода // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Экономика. Информатика. 2014. Т. 29. № 1-1 (172). С. 121–129.

4. *Еремеев, А.П., Варшавский, П.Р.* Поиск решения на основе структурной аналогии для интеллектуальных систем поддержки принятия решений // Известия РАН. Теория и системы управления. 2005. №1. С.97–109.

5. *Паклин, Н.* Кластеризация категорийных данных: масштабируемый алгоритм CLOPE. // BaseGroup Labs — Технологии анализа данных. – 2004. URL: https://basegroup.ru/community/articles/clope, свободный. Проверено 14.04.2018.

05.13.00

М.В. Ходько

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал)
ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»,
инженерно-экономический факультет,
кафедра экономики, управления и организации производства,
Старый Оскол, ninon08@yandex.ru

БАЗОВЫЕ ПРИНЦИПЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-5-267-270

В работе систематизированы основные принципы управления технологическими объектами, рассмотрены линейные и нелинейные системы управления. Выделены и обобщены признаки сложных объектов управления. Представлены последовательные этапы управления в сложных технологических системах, описан подход к формулированию целей системы управления, охарактеризована последовательность формирования функционалов. Произведен синтез структуры модели объекта управления, осуществлен параметрический синтез, а также описана реализация системы управления технологическими объектами.

Ключевые слова: *система, управление, технологический объект, синтез.*

Кибернетический подход позволяет систематизировать рассмотрение процессов управления в различных объектах и системах, вне зависимости от их природы [1]. С этих позиций обобщенная система управления включает объект управления и блок управления. Процесс управления заключается в появлении отклика на выходе $y = F(x,str,a)$ при поступлении возмущения x на вход объекта F со структурой str и параметрами. По информации о текущем состоянии объекта I блок управления вырабатывает управляющее воздействие u в соответствии с некоторым методом по алгоритму Ψ для достижения цели G^*, которое определяют с помощью вычисления заданной целевой функции z. В общем случае цель управления G^* заключена в поддержании заданного значения y^*, либо изменении его во времени в соответствии с заданным законом $y(t)$.

Синтез систем управления классическими методами характеризуется наличием у объекта управления свойств полностью определенных и известных, как на стадии проектирования, так и в процессе функционирования. При этом объект управления описывают в терминах x, y, F, а возможные ошибки e в оценках x, y не существенны и связаны с малыми по амплитуде высокочастотными помехами e, принадлежащими E случайной природы. Рассмотрение объекта управления как низкочастотного фильтра существенным образом огрубляет его свойства.

Рассмотрим свойства математических моделей объектов, применяемые при синтезе систем управления.

Линейность, нехарактерную для сложных объектов в двумерном случае, представим в следующем виде:

$$\forall x_1, x_2 \in X: \begin{Bmatrix} \exists y_1, y_2 \in Y: \\ y_1 = F(x_1), y_2 = F(x_2) \rightarrow (y_1 + ky_2) = F(x_1 + kx_2) \end{Bmatrix} \qquad (1)$$

где k – действительное число.

Сосредоточенность моделей от описываемых ими объектов означает независимость x и y от пространственных координат. Соответствующие модели формализованы в классе дифференциальных уравнений в обыкновенных производных.

Одномерность – вход и выход объекта представляют скалярные величины. В многомерных объектах – векторные значения.

В зависимости от природы множеств принимаемых значений векторов входных и выходных переменных объекты относятся к непрерывным или дискретным, что означает оценку состояний объекта как по временным, так и по пространственным координатам.

Для создания систем управления производственных и технологических процессов больших масштабов приводит к необходимости решения все более сложных задач управления, разработанной для относительно простых объектов [2].

Нелинейные системы управления в отличие от линейных не подчиняются принципу суперпозиции [3]. Допущение о линейности (1) является одним из основных при рассмотрении объектов в рамках теории автоматического регулирования. При этом для математической модели нелинейного объекта отсутствует единственная определённая структура *str* и описание при помощи нелинейных дифференциальных уравнений.

Динамика распределённых объектов описывается дифференциальными уравнениями в частных производных и универсальные методы синтеза системы управления отсутствуют. Создание дискретных систем управления [4] может предполагать допущение о малом периоде дискретизации и переходе к непрерывной системе автоматического управления.

В условиях наличия неопределённостей рассмотрение входных и выходных величин как подмножеств и элементов приводит к вероятностным и нечётким описанием системы. Теоретико-множественный способ описания СТС [5] в частности основан на представлении системы D как некоторого преобразования множества входных воздействий X на множество выходных величин Y, т.е. $D \subset X \times Y$. Если указанные преобразование, из-за наличия неопределённостей, невозможно представить в виде функции, позволяющей получить вход по входу, множество X разделяют на подмножество неопределённых входов M и определённых входов U, и $X=U \times M$, $D \subset U \times M \times Y$.

Теория нечётких множеств предложена Лотфи Заде [6] для анализа и моделирования системы с большим количеством информации, в которых участвует человек, не поддающихся точному математическому анализу. Использование нечётких величин и лингвистических переменных, описание отношений между переменными с помощью нечётких высказываний и алгоритмов позволяет получить эффективные способы описания поведения сложных и плохо определённых систем, разрабатывать системы искусственного интеллекта, поиска информации, принятия решения и др.

При построении СТС необходимо учитывать: неопределённость исходной информации, неточности моделей объектов, нечёткость в принятии решений в многоуровневых системах, наличие человека как лица, принимающего решения. Альтернативной является дополнительное исследование системы или получения информации в ходе контроля (адаптации и обучение) [7]. Сложность, нелинейности объектов управления, трудности формализации, наличие различных субъектов критериев и ограничений обуславливают применение нечётких моделей [6].

Автоматизированные системы управления технологическими процессами в качестве надстройки к системам автоматического контроля и регулирования рассматривается как фактор и необходимое условие повышения эффективности производства [8, 9]. Интегрированный эффект использования средств автоматизации может быть достигнут при наличии технологического ресурса интенсификации производства.

Синтез системы управления СТС представим в виде следующей последовательности этапов:

1. Определение цели G^* системы управления.
2. Формирование целевых критериев (функций, функционалов) $J(I, G^*)$.
3. Определение границ рассматриваемого процесса F, выявление его особенностей, как объект управления.
4. Синтез структуры модели $FM\ (str, a, x, y)$ объекта управления.
5. Параметрический синтез, т.е. идентификация параметров $a \in A$ модели.
6. Синтез стратегии управления $u = \Psi(I, G^*)$.
7. Реализация системы управления.

Формулирование цели *G** является трудно формализуемой задачей, для которой не существует теоретически обоснованных методов решения [10]. Экспертный метод заключается в привлечении группы экспертов для генерирования возможных целей создаваемой системы управления *G*, с последующим их ранжированием и принятием решения об окончательном выборе цели *G**. Одной и той же цели функционирования могут соответствовать различные критерии *J*. В связи с этим формирование множества альтернативных или не альтернативных критериев из них, как и выбор цели функционирования, также требует привлечения экспертов, создания базы данных критериев, разделение их по степени предпочтения, определения системы весовых коэффициентов для их ранжирования. Данный подход применением в области описания объектов управления, их структуры и широко используется пи определении способов интенсификации производственных процессов [11, 12].

Задача синтеза структуры *str* объектов рассматриваемого класса усложняется слабой изученностью отдельных процессов, нестационарностью, как структуры, так и параметров объекта, непредсказуемостью его поведения вследствие наличия активных элементов. Децентрализация системы управления позволяет наделять элементы определённой свободой в реализации своих целей, а координации решений, вырабатываемых в подсистемах – реализовать решение задачи управления на уровне системы в целом. В случае построения математической модели $FM(str,a,\hat{x},\hat{y})$ при сильной зашумлённости исходной информации, малых выборках данных и большом количестве переменных, невозможности сделать упрощающие допущения, например, о линейности объектов эта задача усложняется и оказывается не только трудноразрешимой, но и не корректной [13,14].

Поиск оптимального управления (решения) $u=\Psi(I,G^*)$ в задачах управления большими системами с использованием традиционных методов оптимизации затруднен, требует новых подходов. Синтез децентрализованной иерархической системы управления на основе декомпозиции решаемой задачи представляется возможным и эффективным решением проблемы.

Необходимо отметить важность этапа, связанного с оценкой реализуемости (полезности, эффективности, в т.ч. технико-экономического эффекта) используемых методов принятия управляющих решений по различным критериям. По результатам данного этапа для достижения поставленной цели *G** унифицированной многоступенчатая процедура воспроизводится рекурсивно. При этом на очередном шаге рекурсии, возможно, предпринимать действия по коррекции используемых методов принятия решений, моделей и т.п.

Общие для современных задач ТАУ в области синтеза оптимальных нелинейных системы методы создания из локальных описаний глобального поведения системы выходят из употребления. Исходя из общих для всех объектов свойств сохранения энергии, количества движения и т.п., введения в рассмотрения некоторых функциональных соотношений между координатами системы и компоновка независимых многообразий согласующих с требованием технологических задач управления, которая отражает цель функционирования данного объекта, приводит к необходимости глобальных подходов, построения новых унифицированных алгоритмов, использования методов искусственного интеллекта, создания самоорганизующихся систем [15].

Список литературы

1. *Растригин Л.А.* Современные принципы управления сложными объектами. - М.: Сов.Радио, 1980. - 232 с.
2. *Попов Е.П.* Теория линейных систем автоматического регулирования и управления. - М.: Наука, Гл.ред.физ.мат.лит., 1978. - 256 с.
3. *Фрадков А.Л.* Адаптивное управление в сложных системах. - М: Наука, 1990. - 292 с.
4. *Крутов В.И.* Основы теории автоматического регулирования. - М.: Наука, 1984. - 368 с.
5. *Андрейчиков А.В., Андрейчикова О.Н.* Интеллектуальные информационные системы. - М.: Финансы и статистика, 2004. - 424 с.
6. *Заде Л.А.* Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. - М.: Мир, 1976. - 165 с.
7. *Леошкин А.П.* Автоматизированные системы управления в химической промышленности. - М.: Высшая школа, 1981. - 239 с.
8. *Бернацкий Ф.И., Гладков В.И., Деркач Г.И.* Автоматизированное управление процессами химической технологии. - М.: Наука, 1981. - 216 с.
9. *Левин А.А.* Распределенные АСУ технологическими процессами. - М.: Энергоатомиздат, 1985. - 240 с.
10. *Гермейер Ю.Б.* Введение в теорию исследования операций. - М.: Наука, 1971. - 352с.
11. *Половинкин А.И.* Основы инженерного творчества. - М.: Машиностроение, 1988. - 104 с.
12. *Белоглазов И.Н., Муравьев А.И.* Интенсификация и повышение эффективности химико-технологических процессов. - Л.: Химия, 1988. -206 с.
13. *Балакирев В.С., Володин В.М., Цирлин А.М.* Оптимальное управление процессами химической технологии. - М.: Химия, 1978. - 384 с.
14. *Кафаров В.В.* Анализ и синтез химико-технологических систем. - М.: Химия, 1991. – 432 с.
15. *Колесников А. А.* Синергетическая теория управления. - М.: Энергоатомиздат, 1994. – 344 с.

05.13.00

И.А. Шмидт канд. техн. наук, Р.Р. Нарбеков, А.С. Монахов, К.Д. Бахтерева

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
электротехнический факультет, кафедра микропроцессорных средств автоматизации,
Пермь, shmidt@msa.pstu.ac.ru

СЕРВИСНАЯ ПРОГРАММА ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПОЛУНАТУРНЫХ ИСПЫТАНИЙ

DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-5-271-273

В статье описан подход к автоматизации испытания САУ в составе полунатурного стенда. Использование сервисной программы позволит уменьшить трудоемкость испытаний, добиться повторяемости результатов и исключить человеческий фактор. Авторами предложена программная реализация с использованием архитектуры «машины состояний».

Ключевые слова: *полунатурные испытания САУ, машина состояний, Labview.*

Введение

Полунатурное моделирование представляет собой моделирование с натурной системой автоматизированного управления и моделируемым объектом, при котором часть системы моделируется, а остальная часть является реальной. Не имея возможности работать с реальным объектом, разрабатывается модель, которая может математически описать этот объект. При наличии некого объекта, над которым невозможно провести натурное моделирование, так как его работа сопряжена с большими расходами, перед нами стоит задача спроектировать и испытать САУ для этого объекта, поэтому применяем полунатурное моделирование. Моделирование проходит в реальном масштабе времени. Такое моделирование системы управления позволяет анализировать как всю систему в целом, так и отдельные ее элементы, исследовать влияния статики и динамики элементов реальной аппаратуры на работу САУ.

Для автоматизации процесса испытаний, необходимо дополнительное программное обеспечение, которое представляет собой сервисную программу, предназначенную для:

- Формирования временной последовательности входных воздействий для моделирующей программы, то есть позволяет добиться повторяемости результатов и исключить человеческий фактор.
- Фиксирования и сохранения текущих параметров испытаний.

В качестве среды разработки выбрано программное обеспечение компании *National Instruments LabVIEW*

Описание объекта автоматизации

Для передачи данных в сетях IP без установления соединения используется транспортный протокол *UDP* (англ. *User Datagram Protocol* – протокол пользовательских датаграмм), который контролирует целостность полученных датаграмм, что позволяет ему быстрее и эффективнее доставлять данные для приложений.

Протокол *UDP* может быть использован в том случае, когда хорошее качество каналов связи обеспечивает достаточный уровень надежности и без применения дополнительных механизмов типа установления логического соединения и квитирования передаваемых пакетов.[1]

В нашем случае информационный обмен между объектом автоматизации (точнее моделирующей программой) и САУ производится при помощи обмена UDP-пакетами с вложенными информационными кадрами. Точкой входа/выхода для обмена является порт коммутатора (*switch*). После получения UDP-пакета на точку входа производится вся его дальнейшая обработка. Обмен данными между объектом и САУ производится в обоих направлениях.

В ходе нашей работы мы столкнулись с проблемой: по одному порту выдавалось два управляющих воздействия. Как следствие, они мешали друг другу. Было решено исправить проблему следующим образом: сделать так, чтобы сервисная программа и САУ отправляли управляющие воздействия по разным портам. При этом считывание информации из модели происходит по одному и тому же порту, что для сервисной программы, что для САУ. [2]

На рис. 1 показана функциональная схема взаимодействия программ.

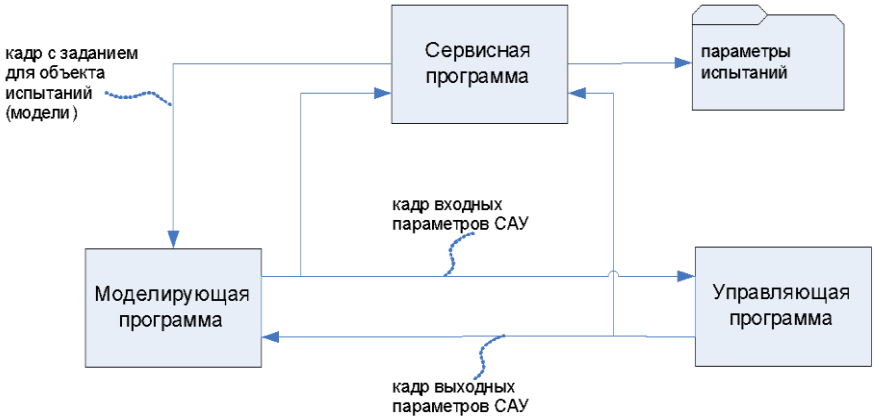


Рис.1 – Функциональная схема моделирования

Сервисная программа исполняет 3 режима работы:

1) Штатный

-Режим, позволяющий управлять единственным задающим параметром САУ. Данный режим является основным режимом работы.

2) Полное тестирование

-Задание абсолютно всех управляющих воздействий по временным промежуткам. Используется для анализа соответствия реального объекта управления с его моделью.

3) Режим наблюдения

-Наблюдение за обменом данными между САУ и моделирующей программой.

Далее описываются основные программы системы:

Моделирующая программа получает по UDP сигналы управления. Задача моделирующей программы – в зависимости от данных воздействий высчитывать реакцию системы и по тому же каналу данных отправлять на определенный порт.

Управляющая программа, в зависимости от выходных параметров модели, выдает обратное управляющие воздействия (в штатном режиме) посредством встроенных регуляторов. При проведении полного тестирования моделирующей программы, управляющая, в свою очередь, не участвует в работе, данная функция целиком возлагается на сервисную программу.

Сервисная программа, как правило, задает основное управляющее воздействие для объекта испытания (в штатном режиме), после того как считает все кадры от моделирующей и управляющей программы, записывая все данные в CSV файл (доп.функция). Однако в режиме полного тестирования функция задатчика управляющих воздействий переходит к сервисной программе.

Описание программной реализации системы

На рис.2 Представлена диаграмма «машины состояний».

Основная программа представляет собой «машину состояний». Внутри главного цикла *While Loop* располагается структура выбора *Case*, в которой выполняются различные участки кода в зависимости от условия, поданного на вход-селектор структуры выбора. Выбор следующего состояния осуществляется с помощью специального сдвигового регистра. При запуске виртуального прибора происходит инициализация сдвигового регистра и осуществляется переход в первое состояние - «*Initialization*». В этом состоянии загружаем файл с исходными данными для проверки адекватности модели. Также в этом состоянии происходить подсчет количества строк в файле. После выполнения этих операций

осуществляется переход к следующему состоянию - «*Work*». Состояние «*Work*» является основным при работе системы тестирования. Исполняемый код можно условно разделить на три части: начало, основной цикл, завершение. Сразу после перехода в состояние «*Work*» выполняется сохранение текущего времени. [3]



Рис. 2 – Визуализация «машины состояний»

Основную часть программы можно разделить на несколько частей:

А). Режим наблюдения.

–В данном режиме не высылаются управляющие сигналы, а только лишь считываются данные от модели и САУ.

Б). Штатный режим.

– Работа с файлом, который читается при инициализации. Записываем массив на основании этого файла. Также из этого массива достаем максимальное и минимальное значение времени. Далее следует 2 режима.

1) Полное тестирование:

– Сравниваем текущее значение времени из массива со временем с момента старта программы, на основании этого сравнения мы посылаем управляющее воздействие на модель согласно временным промежуткам из файла чтения.

2) Выдача основного (главного) управляющего воздействия:

– Сравниваем текущее значение времени из массива со временем с момента старта программы, на основании этого сравнения мы посылаем единственное управляющее воздействие на модель согласно временным промежуткам из файла чтения, либо вручную на основании требуемого испытания.

В). Запись трендов.

Параллельно с основным циклом происходит запись измеренных значений генерируемых моделью в CSV файл. По завершению чтения файла происходит автоматическое отключение записи.

Список литературы

1. *Васнев Н.В., Шмидт И.А.,* Система регистрации параметров испытаний сложных изделий на основе документно-ориентированной базы данных //Фундаментальные исследования. 2016. № 11-3. С. 500-504.Чалов М.А.,

2. *Шмидт И.А.,* Хранение данных стендовых испытаний // Научно-технический вестник Поволжья. 2017. № 4. С. 222-225.

3. Описание «машины состояний» [Электронный ресурс] http://popayaem.ru/konechnye-avtomaty-kak-programmirovat-bez-zaparok.html

АННОТАЦИИ
ABSTRACTS

В.С. Минкин, Т.Ю. Старостина, Р.Х. Шагимуллин

ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ СЕРЫ НА ИЗМЕНЕНИЕ ХИМИЧЕСКИХ СДВИГОВ СПЕКТРОВ ЯМР В ПРОМЫШЛЕННЫХ ПОЛИСУЛЬФИДНЫХ ОЛИГОМЕРАХ

Ключевые слова: химический сдвиг, полисульфидный олигомер (ПСО), ядерный магнитный резонанс (ЯМР).

В работе представлены экспериментальные результаты по влиянию количества атомов серы в цепи промышленных полисульфидных олигомеров на параметры спектров ЯМР данных олигомеров.

V.S. Minkin, T.Yu. Starostina, R.Kh. Shagimullin

EFFECT OF SULFUR CONTENT ON CHANGE OF CHEMICAL SHIFTS OF NMR SPECTRA IN INDUSTRIAL POLYSULPHIDE OLIGOMERS

Keywords: chemical shift, polysulfide oligomer (PSO), nuclear magnetic resonance (NMR).

The paper presents experimental results on the effect of the number of sulfur atoms in the chain of industrial polysulfide oligomers on the parameters of NMR spectra of these oligomers.

И.Х. Еникеев

ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДА КРАМЕРА ДЛЯ РЕШЕНИЯ МНОГОПАРАМЕТРИЧАСКИХ СИСТЕМ АЛГЕБРАИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ

Ключевые слова: критерии эффективности, метод Гаусса, матрица Жордана, схема Крамера.

Определен критерий, позволяющий производить оценку эффективности существующих методов решения систем линейных уравнений. Показана возможность применения некоторых методов решения систем линейных алгебраических уравнений для решения и исследования определенных классов многопараметрических нелинейных систем.

I.X. Enikeev

OPTIMAL CHOICE OF THE METHOD FOR INVESTIGATING MULTIPARAMETER SISTEMS OF LINEAR AND NONLINEAR ALGEBRAIC EQUATIONS

Keywords: criteria for the efficiency, the Gauss method, the Jordan matrix, the Cramer scheme.

A classification of the basic methods for solving sistems of algebraic equations is given. A criterion for evaluating the effectiveness of existing methods for solving linear equations is established and the dependence of the corresponding sistem on the order of a given sistem of algebraic equations is established. The possibility of applying some methods for solving sistems of linear equations for solving and investigating certain classes of multiparameter sistems is shown.

А.С. Калитвин, А.И. Иноземцев

О НЕТЕРОВОСТИ, ФРЕДГОЛЬМОВОСТИ И ОБРАТИМОСТИ ЛИНЕЙНЫХ ОПЕРАТОРОВ И УРАВНЕНИЙ С МНОГОМЕРНЫМИ ЧАСТНЫМИ ИНТЕГРАЛАМИ

Ключевые слова: частные интегралы, линейные операторы и уравнения с многомерными частными интегралами, нетеровость операторов и уравнений, фредгольмовость операторов и уравнений, обратимость.

Получены критерии нетеровости, фредгольмовости и обратимости одного класса линейных операторов и уравнений с многомерными частными интегралами в пространстве непрерывных на параллелепипеде функций.

A.S. Kalitvin, A.I. Inozemtsev

ON THE NOETHER, FREDHOLM AND INVERTIBILITY PROPERTIES OF OPERATORS AND EQUATIONS WITH MULTIDIMENSIONAL PARTIAL INTEGRALS

Keywords: partial integrals, operators and equations with multudimensional partial integrals, Noether operators and equations, Fredholm operators and equations, invertibility.

The criterions of Noether, Fredholm and invertibility properties of one class operators and equations with multidimensional partial integrals in the space of continuous on parallelepipede functions are obtained.

А.С. Калитвин, А.И. Иноземцев

О НЕТЕРОВОСТИ, ФРЕДГОЛЬМОВОСТИ И ОБРАТИМОСТИ ДВУХ КЛАССОВ ЛИНЕЙНЫХ ОПЕРАТОРОВ И УРАВНЕНИЙ С МНОГОМЕРНЫМИ ЧАСТНЫМИ ИНТЕГРАЛАМИ

Ключевые слова: частные интегралы, линейные операторы и уравнения с многомерными частными интегралами, нетеровость операторов и уравнений, фредгольмовость операторов и уравнений, обратимость.

Получены критерии нетеровости, фредгольмовости и обратимости двух классов линейных операторов и уравнений с многомерными частными интегралами в пространстве непрерывных на параллелепипеде функций.

A.S. Kalitvin, A.I. Inozemtsev

ON THE NOETHER, FREDHOLM AND INVERTIBILITY PROPERTIES OF TWO CLASSES OF OPERATORS AND EQUATIONS WITH MULTIDIMENSIONAL PARTIAL INTEGRALS

Keywords: partial integrals, linear operators and equations with multudimensional partial integrals, Noether operators and equations, Fredholm operators and equations, invertibility.

Criterions of Noether, Fredholm and invertibility properties on space C(D) of two classes of operators and equations with multidimensional partial integrals in the space of continuous functions on parallelepiped are obtained.

А.С. Калитвин, В.А. Калитвин

О ПРИБЛИЖЁННОМ РЕШЕНИИ ЛИНЕЙНОГО ЧАСТИЧНО ИНТЕГРАЛЬНОГО УРАВНЕНИЯ РОМАНОВСКОГО

Ключевые слова: интегральные уравнения, линейные уравнения Романовского, частные интегралы, приближённые методы, марковские цепи.

Работа содержит теоремы о разрешимости линейных частично интегральных уравнений Романовского, результаты о различных приближённых методах их решения.

A.S. Kalitvin, V.A. Kalitvin

ON THE APPROXIMATE SOLUTION OF ROMANOVSKIJ PARTIALLY INTEGRAL EQUATIONS

Keywords: integral equations, Romanovskij linear equations, partial integrals, approximately methods, Markov chains.

This paper contains the theorems of solvability of Romanovskij linear partially integral equations, results on various approximate methods for their solution.

Н.И. Попова, Ю.В. Швец, Н.В. Миллер, Т.В. Хомченко
О НЕКОТОРЫХ ПРЕДСТАВЛЕНИЯХ ИНТЕГРАЛА ФРЕНЕЛЯ
Ключевые слова: интеграл, определенный интеграл, интеграл Френеля, несобственный интеграл, интегральное представление.
Работа посвящена вычислению некоторых несобственных интегралов Френеля, которые часто встречаются в различных приложениях, например, они естественно возникают в физике в разделе оптика при расчете дифракции. Установлено, что рассматриваемые интегралы выражаются через некоторые суммы, где в качестве слагаемых выступают произведения сочетаний и тригонометрических функций. Кроме того, в работе для данных определенных интегралов установлены рекуррентные соотношения.

H.I. Popova, Y.V. Shvets, N.V. Miller, T.V. Homchenko
ON SOME REPRESENTATIONS OF FRESNEL INTEGRALS
Keywords: integral, definite integral, Fresnel integral, improper integral, integral representation.
The work is devoted to the calculation of some nonconforming Fresnel integrals, which are often found in various applications, for example, they naturally occur in physics in the optics section in the calculation of diffraction. It is established that the considered integrals are expressed through some sums, where the products of combinations and trigonometric functions act as components. In addition, recurrent relations are established for these particular integrals.

Н.И. Трусова
ОБ ОДНОМ КЛАССЕ СИСТЕМ ЛИНЕЙНЫХ УРАВНЕНИЙ ТИПА РОМАНОВСКОГО С ЧАСТНЫМИ ИНТЕГРАЛАМИ
Ключевые слова: системы линейных уравнений типа Романовского, частные интегралы, фредгольмовость системы.
Получены условия фредгольовости одного класса систем линейных уравнений типа Романовсого с частными интегралами в пространстве непрерывно дифференцируемых функций.

N.I. Trusova
ON THE ONE CLASS SYSTEMS OF ROMANOVSKIJ TYPE LINEAR EQUATIONS WITH PARTIAL INTEGRALS
Keywords: systems of Romanovskij type linear equations, partial integrals, fredholmness of systems.
The fredholmness conditions for one class systems of Romanovskij type linear equations with partial integrals in the spaces of continuosly differentiable functions are obtained.

А.Ю. Балкизова, М.Р. Тохов, С.М. Малухова, Ж.А. Кочкаров
ТРЕХКОМПОНЕНТНАЯ СИСТЕМА KCl – K_2WO_4 – $PbWO_4$
Ключевые слова: Фазовые равновесия, фазовые диаграммы состояния, трехкомпонентные системы, вольфрамат свинца, сцинтилляторы, электромагнитный калориметр.
Методами физико-химического анализа, дифференциальным термическим анализом и рентгенофазовым анализом изучена фазовая диаграмма трехкомпонентной системы KCl–K_2WO_4–$PbWO_4$, выявлено и изучено триангулирующее треугольник составов сечение K_2WO_4·$PbWO_4$–$PbWO_4$, определены координаты тройных эвтектик.

A.Yu. Balkizova, M.R. Tokhov, S.M. Malukhova, J.A. Kochkarov
THREE-COMPONENT SYSTEM KCl - K_2WO_4 - $PbWO_4$
Keywords: Phase equilibria, phase phase diagrams, three-component systems, lead tungstate, scintillators, electromagnetic calorimeter.
The phase diagram of the three-component system KCl-K_2WO_4-PbWO4 was studied by physical-chemical analysis, differential thermal analysis, and X-ray phase analysis. The triangulating triangle of compositions K_2WO_4.$PbWO_4$-$PbWO_4$ was detected and studied, the coordinates of the triple eutectics were determined.

А.В. Быков, Г.Н. Демиденко
СТАБИЛИЗАЦИЯ КЛАСТЕРОВ Pd_4 И Pd_4H_2 В АРОМАТИЧЕСКИХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТРИЦАХ
Ключевые слова: кластер, стабилизация, ароматическая полимерная матрица.
В статье рассмотрены эффекты стабилизации кластеров Pd_4 и Pd_4H_2 в ароматических полимерных матрицах в рамках модели супермолекулы на уровне расчета теории функционала плотности.

A.V. Bykov, G.N. Demidenko
STABILIZATION OF Pd_4 AND Pd_4H_2 CLUSTERS IN THE AROMATIC POLYMER MATRICES
Keywords: cluster, stabilization, aromatic polymer matrix.
The effects of stabilization of Pd_4 and Pd_4H_2 clusters in aromatic polymer matrices are considered in the framework of the supermolecular model at the density functional theory level of calculation.

Х.Б. Кушхов, В.В. Хасанов, Е.Р. Губжокова, Р.М. Кушхова, Р.А. Мукожева, М.Р. Тленкопачев
СИНТЕЗ МОЛИБДАТА И ВОЛЬФРАМАТА САМАРИЯ ИЗ ГАЛОГЕНИДНО-ОКСИДНЫХ РАСПЛАВОВ
Ключевые слова: хлорид самария, лантаноиды, ионный обмен, синтез.
Методом ионного обмена в галогенидно-оксидном расплаве синтезированы молибдат и вольфрамат самария. Изучены структура, фазовый и элементный состав продуктов синтеза.

Kh.B. Kushkhov, V.V. Khasanov, E.R. Gubzhokova, R.M. Kushkhova, R.A. Mukozheva, M.R. Tlenkopachev
THE ELECTROSYNTHESIS OF SAMARIUM MOLYBDATES AND TUNGSTANATES FROM HALIDE-OXIDE MELTS
Keywords: samarium chloride, lanthanides, ionic exchange, synthesis.
The method of ionic exchange in halide – oxide melts samarium molybdates and tungstanates are synthesized. The structure, phase and element composition of a synthesized products are studied.

Н.В. Лакина, А.И. Головко, В.Ю. Долуда, В.Г. Матвеева, Г.Ю. Рабинович
ВЛИЯНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА СОВМЕСТНЫЙ РОСТ МИКРООРГАНИЗМОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ БИОТОПЛИВА
Ключевые слова: целлюлозолитические и метанообразующие микроорганизмы, торф, биотрансформация, D-глюкоза, биотопливо.

N.V. Lakina, A.I. Golovko, V.Yu. Dolud, G.Yu. Rabinovich
INFLUENCE OF PHYSICO-CHEMICAL PARAMETERS ON THE JOINT GROWTH OF MICROORGANISMS USED IN THE PRODUCTION OF BIOFUELS
Keywords: cellulolytic and methanogenic microorganisms, peat, biotransformation, D-glucose, biofuel.
In the present work provides data on the variation of the conditions for obtaining cellulolytic and methane-producing microorganisms are able to transform lignocellulosic raw

В настоящей работе приведены данные по варьированию условий получения целлюлозолитических и метанообразующих микроорганизмов способных трансформировать лигноцеллюлозное сырье в биотопливо. В качестве лигноцеллюлозного сырья был эффективно применен торф верхового типа. Изучено влияние таких важных факторов, как окислительно-восстановительный потенциал и pH питательной среды для совместного культивирования целлюлозолитических ферментов.

materials into biofuels. As lignocellulosic raw material was effectively used peat top type. The influence of such important factors as the redox potential and pH of the nutrient medium for the joint cultivation of cellulolytic enzymes has been studied.

Н.В. Лебедева, Г.Н. Кошель

СИНТЕЗ *о*-ДИКАРБОНОВЫХ КИСЛОТ БИФЕНИЛА НА ОСНОВЕ *о*-КСИЛОЛА И ЦИКЛОГЕКСАНОЛА

Ключевые слова: о-ксилол, циклогексанол, алкилирование, дегидрирование, жидкофазное каталитическое окисление.

Разработан метод получения 3,4- и 2,3-бифенилдикарбоновых кислот. Изучено влияние различных факторов на отдельных стадиях синтеза, найдены условия, обеспечивающие эффективное протекание процесса, идентифицированы промежуточные и конечные продукты реакций.

N.V. Lebedeva, G.N. Koshel

SYNTHESIS OF *o*-DICARBONIC ACIDS BIPHENYL BASED ON *o*-XYLENE AND CYCLOHEXANOL

Keywords: o-xylene, cyclohexanol, alkylation, dehydrogenation, liquid-phase catalytic oxidation.

A method for the preparation of 3,4- and 2,3-biphenyldicarboxylic acids has been developed. The influence of various factors on individual stages of synthesis was studied, conditions were found that ensure the effective course of the process, intermediate and final reaction products were identified.

Н.А. Немыгина, Л.Ж. Никошвили, А.В. Быков, Э.М. Сульман, L. Kiwi-Minsker

МНОГООБРАЗИЕ ФОРМ ПАЛЛАДИЯ, СТАБИЛИЗИРОВАННЫХ СВЕРХСШИТЫМ ПОЛИСТИРОЛОМ, И ИХ ВЛИЯНИЕ НА АКТИВНОСТЬ КАТАЛИЗАТОРОВ КРОСС-СОЧЕТАНИЯ СУЗУКИ

Ключевые слова: кросс-сочетание Сузуки, палладий, сверхсшитый полистирол, наночастицы палладия, кластеры палладия.

В данной работе приводятся результаты тестирования Pd-содержащих катализаторов на основе сверхсшитого полистирола в реакции кросс-сочетания 4-броманизола и фенилбороновой кислоты в присутствии NaOH в качестве основания. Показано, что Pd в составе катализаторов присутствует в форме Pd(II), а также наночастиц и кластеров Pd(0). При этом активность невосстановленных и предварительно восстановленных в токе водорода катализаторов коррелирует с содержанием Pd(II) на поверхности.

N.A. Nemygina, L.Zh. Nikoshvili, A.V. Bykov, E.M. Sulman, L. Kiwi-Minsker

DIVERSITY OF PALLADIUM FORMS STABILIZED WITH HYPERCROSSLINKED POLYSTYRENE AND THEIR INFLUENCE ON ACTIVITY OF THE CATALYSTS OF SUZUKI CROSS-COUPLING

Keywords: Suzuki cross-coupling, palladium, hypercrosslinked polystyrene, palladium nanoparticles, palladium clusters

In this paper, the results of testing of Pd-containing catalysts based on hypercrosslinked polystyrene in cross-coupling reaction of 4-bromoanisole and phenylboronic acid while using NaOH as a base are presented. Pd in the catalyst composition is shown to present in the form of Pd(II) and also clusters and nanoparticles Pd(0). The activity of both unreduced and reduced catalysts correlates with the content of Pd (II) on the surface.

А.А. Степачёва, М.Е. Маркова, А.В. Гавриленко, В.Г. Матвеева, М.Г. Сульман, Э.М. Сульман

Ni-СОДЕРЖАЩИЙ КАТАЛИЗАТОР ДЛЯ ДЕОКСИГЕНИРОВАНИЯ ЖИРНЫХ КИСЛОТ

Ключевые слова: никель, сверхсшитый полистирол, деоксигенирование, сверхкритический гексан.

В данной работе проведено исследование процесса деоксигенирования стеариновой кислоты, выбранной в качестве модельного соединения, в среде сверхкритического гексана в присутствии нового никельсодержащего катализатора, синтезированного гидротермальным методом. Было показано, что использование синтезированного катализатора сдвигает селективность получаемых продуктов к C_{16}-C_{17} углеводородам по сравнению с некаталитическим процессом.

A.A. Stepacheva, M.E. Markova, A.V. Gavrilenko, V.G. Matveeva, E.M. Sulman, M.G. Sulman

Ni-CONTAINING CATALYST FOR FATTY ACID DEOXYGENATION

Keywords: nickel, hypercrosslinked polystyrene, deoxygenation, supercritical hexane.

In the current work, the study of stearic acid deoxygenation in the medium of supercritical hexane was performed. A novel Ni-containing catalyst synthesized by hydrothermal method was used. The use of the synthesized catalyst leads to the shift in the selectivity towards the formation of C_{16}-C_{17} hydrocarbons as compared with the non-catalytic process.

Б.Б. Тихонов, П.Ю. Стадольникова, А.И. Сидоров, Э.М. Сульман

ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА И УСЛОВИЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ МУЛЬТИФЕРМЕНТНОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ОКСИДОРЕДУКТАЗ

Ключевые слова: оксидоредуктазы, пероксидаза хрена, глюкозооксидаза, каталаза, мультиферментная система, оптимизация.

В статье проведена экспериментальная оптимизация мультиферментной системы (пероксидаза, глюкозооксидаза, каталаза) для обеспечения ее эффективного функционирования в процессах окисления органических соединений. Проведено варьирование компонентного состава системы и условий процесса, выявлены оптимальные значения этих параметров.

B.B. Tikhonov, P.Yu. Stadolnikova, A.I. Sidorov, E.M. Sulman

OPTIMIZATION OF STRUCTURE AND OPERATING CONDITIONS OF MULTIFERMENTAL SYSTEM ON THE BASIS OF OXIDOREDUCTASES

Keywords: oxidoreductases, horseradish peroxidase, glucose oxydase, catalase, multienzymatic system, optimization

In article experimental optimization of multifermental system (peroxidase, glucose oxidase, catalase) for ensuring her effective functioning in processes of organic compounds oxidation is performed. Variation of component structure of system and conditions of process is carried out and optimum values of these parameters are revealed.

В.В. Хасанов, Т.А. Борукаев, Л.А. Мусаева, А.А. Кяров
ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИНТЕЗИРОВАННОГО $ZnMoO_4$ В КАЧЕСТВЕ ДЫМОГАСИТЕЛЯ ДЛЯ ПВХ КАМПАУНДОВ

Ключевые слова: молибдат цинка, получение, ПВХ-пластикат, антидымные присадки.

Разработан перспективный способ получения молибдата цинка с количественным выходом. Обнаружено, что молибдат цинка эффективно снижает количество выделяющегося дыма при горении ПВХ-пластиката. Показано, что механизм подавления дыма синтезированным молибдатом цинка заключается в образовании карбонильных соединений при окислении сажевых компонентов горения.

V.V. Khasanov, T.A. Borukaev, L.A. Musaeva, A.A. Kyarov
A STUDY OF THE EFFECTIVENESS OF THE USE OF SYNTHESIZED ZnMoO4 AS A FIRE EXTINGUISHER FOR PVC CAMPAIGNS

Keywords: Zinc molybdate, PVC-plastic, anti-smoke additives.

A promising method for obtaining zinc molybdate with a quantitative yield was developed. It has been found that zinc molybdate effectively reduces the amount of smoke emitted during the burning of PVC-plastic. It is shown that the mechanism of smoke suppression by synthesized molybdate of zinc consists in the formation of carbonyl compounds during the oxidation of soot components of combustion.

Е.И. Шиманская, Э.М. Сульман, М.Г. Сульман
КАТАЛИТИЧЕСКАЯ ГИДРОПЕРЕРАБОТКА ЛИГНИНА В ПРИСУТСТВИИ 3%RU, НАНЕСЕННОГО НА СВЕРХСШИТЫЙ ПОЛИСТИРОЛ

Ключевые слова: лигнин, гидрогенолиз, катализатор, сверхсшитый полистирол, биотопливо.

В данной работе представлены результаты исследования процесса каталитического гидрогенолиза лигнина, извлеченного из растительного сырья, в присутствии Ru-содержащего гетерогенного катализатора. Подобраны оптимальные параметры процесса.

E.I. Shimanskaya, E.M. Sulman, M.G. Sulman
CATALYTIC HYDROTREATMENT OF LIGNIN IN THE PRESENCE OF 3%RU DEPOSITED ON HYPERCROSSLINKED POLYSTYRENE

Keywords: lignin, hydrogenolysis, catalyst, hypercrosslinked polystyrene, biofuels.

This paper presents the results of a study of the process of catalytic hydrogenolysis of lignin, extracted from raw material, in the presence of Ru-containing heterogeneous catalyst. The optimum process parameters were chosen.

Аббаварам Ревант Редди, В.Г. Нестеренко
КОНСТРУКТИВНЫЕ МЕТОДЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КРИТИЧНЫХ УЗЛОВ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ТВД АВИАЦИОННЫХ ГТД

Ключевые слова: охлаждаемая лопатка турбины, воздухо-воздушный теплообменник, аппарат закрутки, интенсивность охлаждения, коэффициент теплопередачи, эффективность системы воздушного охлаждения.

Представлены результаты расчётных исследований возможности повышения эффективности критичных узлов системы охлаждения турбин высокого давления (ТВД) авиационных газотурбинных двигателей (ГТД), трубчатого воздухо-воздушного теплообменника (ВВТ) и аппарата закрутки охлаждающего воздуха при его подводе на вход в рабочую лопатку ТВД.

Abbavaram Revanth Reddy, V.G. Nesterenko
CONSTRUCTIVE METHODS OF IMPROVING CRITICAL NODES OF THE COOLING SYSTEM OF A MODERN HIGH TEMPERATURE GAS TURBINE ENGINES

Keywords: cooled turbine vane, air-to-air heat exchanger, swirl inducer, the intensity of cooling, the heat transfer coefficient, efficiency of air cooling.

The article presents the results of computational studies of the possibility of improving the efficiency of critical components of the cooling system of high-pressure turbines (HPT) of aviation gas turbine engines (GTE), tubular air-to-air heat exchanger (AAHE) and the swirl inducer of cooling air when it is brought to the inlet of the working blade of HPT.

А.П. Буйносов, И.С. Цихалевский
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ЛОКОМОТИВОВ

Ключевые слова: техника, локомотив, обслуживание, ремонт, система, организация, совершенствование.

В статье рассмотрены вопросы совершенствования организации системы технического обслуживания и ремонта локомотивов за счет ее постепенного изменения. Выявлены причины, способствующие отказам узлов локомотивов, определены этапы перехода на новую систему обслуживания и ремонта локомотивов.

A.P. Buinosov, I.S. Tsikhalevsky
IMPROVEMENT OF THE ORGANIZATION OF SYSTEM OF TECHNICAL MAINTENANCE AND REPAIR OF LOCOMOTIVES

Keywords: equipment, locomotive, service, repair, system, organization, improvement.

In article questions of improvement of the organization of system of technical maintenance and repair of locomotives due to its gradual change are considered. The reasons promoting refusals of nodes of locomotives are established, stages of transition to the new system of service and repair of locomotives are defined.

А.А. Владимиров, А.П. Сергиев, А.В. Макаров
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВИБРАЦИОННОГО ТОЧЕНИЯ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ DEFORM

Ключевые слова: вибрационное точение, метод конечных элементов, амплитуда колебаний, частота колебаний, температура.

В работе приведены результаты моделирования процесса вибрационного точения. Описано распределение температур в зоне резания и на поверхности режущего инструмента. Представлены графики распределения напряжений в зоне резания.

A.A. Vladimirov, A.P. Sergiev, A.V. Makarov
SIMULATION OF VIBRATION-PRECISION PROCESS IN THE DEFORM SOFTWARE COMPLEX

Keywords: vibratory turning, the finite element method, amplitude of oscillation, oscillation frequency, temperature.

The results of simulation of the vibrational turning process are given in the work. The distribution of temperatures in the cutting zone and on the surface of the cutting tool is described. The graphs of stress distribution in the cutting zone are presented.

И.А. Корин

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В КАНАЛЕ С ОБРАЗЦОМ РЕЗОНАНСНОЙ ЗПК

Ключевые слова: резонансная звукопоглощающая конструкция, интерферометр, численное моделирование.

Представлены результаты численного моделирования распространения звука в канале с установленным в нем однослойным образцом резонансной звукопоглощающей конструкции. Расчеты проведены на основе трех разных математических моделей: уравнения Гельмгольца; линеаризованных уравнений Навье-Стокса; совместного использования волнового уравнения и полных уравнений Навье-Стокса. Выполнена оценка точности численного моделирования путем сравнения результатов с экспериментом.

I.A. Korin

NUMERICAL SIMULATION OF ACOUSTICAL PROCESSES IN DUCT WITH RESONANT SOUND-ABSORBING LINER

Keywords: resonant sound-absorbing liner, interferometer, numerical simulation.

The results of numerical simulations of the sound propagation in ducts with resonant sound-absorbing liner are presented. Computations are carried out based on three different mathematical models: Helmholtz equation; linearized Navier-Stokes equations; combination of the wave equation with complete Navier-Stokes equations. The evaluation of numerical simulation accuracy is executed by comparison with experiment results.

Я.А. Мишин, А.П. Буйносов

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ НАЛИЧИЯ УНИПОЛЯРНОЙ ИНДУКЦИИ В ТЯГОВОМ ДВИГАТЕЛЕ ЭЛЕКТРОВОЗА ПОСТОЯННОГО ТОКА

Ключевые слова: электровоз, постоянный ток, тяговый двигатель, униполярность, индукция, наличие, исследование, результаты.

В статье проведен анализ магнитной цепи тягового двигателя электровоза постоянного тока. С использованием программы конечно-элементного анализа получены распределения напряженности магнитного поля и магнитной индукции от одной секции обмотки якоря, что позволило сделать вывод об отсутствии униполярной индукции в тяговом двигателе.

Ya.A. Mishin, A.P. Buinosov

RESULTS OF THE RESEARCH OF AVAILABILITY OF UNIPOLAR INDUCTION IN THE TRACTION ENGINE OF THE ELECTRIC LOCOMOTIVE OF DIRECT CURRENT

Keywords: electric locomotive, direct current, traction engine, unipolarity, induction, availability, research, results.

In article the analysis of a magnetic chain of the traction engine of an electric locomotive of direct current is carried out. With use of the program of the final and element analysis distributions of magnetic field strength and magnetic induction are received from one section of a winding of an anchor that allowed to draw a conclusion on lack of unipolar induction in the traction engine.

В.П. Новоселов, М.Д. Лукашук

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ НАГРУЗОК В НОВОЙ РАБОЧЕЙ КЛЕТИ СТАНА ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКИ ТРУБ

Ключевые слова: прокатная клеть, экспериментальное исследование.

В статье представлены результаты экспериментального исследования процесса прокатки в рабочей клети стана ХПТ с оригинальной конструкцией механизма вращения прокатных валков. Подтверждено рассчитанное теоретически снижение технологических нагрузок и энергозатрат процесса прокатки при использовании новой конструкции.

V.P. Novoselov, M.D. Lukashuk

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF TECHNOLOGICAL LOADS IN A NEW WORKING STAND OF A COLD PIPE ROLLING MILL

Keywords: rolling mill, experimental research.

The article presents the results of an experimental study of the rolling process in the working stand of a cold pipe rolling mill, with a new original design of the rotation mechanism for forming rolls. The theoretically calculated reduction of technological loads and energy consumption of the rolling process due to introduction of the new design is confirmed.

И.Ю. Смирнова, Д.А. Феоктистова, Д.Г. Алленов

АКТУАЛИЗАЦИЯ МЕТОДОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА СТАНОЧНОГО ПАРКА

Ключевые слова: техническое обслуживание, планово-предупредительный ремонт, станочный парк, вибродиагностика.

В статье приведены: анализ устаревших положений и возможности актуализации вышеуказанной общеотраслевой методики. Отражен положительный опыт предприятий в части внедрения на предприятия новых методов выполнения ремонтно-восстановительных работ. Предложены варианты решения актуальной проблемы.

I.Yu. Smirnova, D.A. Feoktistova, D.G. Allenov

ACTUALIZATION OF METHODS OF TECHNOLOGICAL MAINTENANCE AND REPAIR OF MACHINE PARK

Keywords: maintenance, preventive maintenance, machine tool, machinery equipment, vibration diagnostics, the actual condition, accuracy, error.

The article contains: an analysis of outdated regulations and opportunities for updating the above industry-wide methodology. The positive experience of enterprises in the part of introducing new methods for performing repair and restoration works is reflected in the enterprises. Variants of solutions of the actual problem are suggested.

В.С. Тынченко, Д.Д. Мешков, В.В. Тынченко, В.В. Бухтояров

УСТАНОВКА ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ РАБОЧЕЙ ЖИДКОСТИ КОМПРЕССОРА НЕФТЕПЕРЕКАЧИВАЮЩЕЙ СТАНЦИИ

Ключевые слова: компрессор, рабочая жидкость, диагностика, нефтеперекачивающая станция.

В статье отражаются результаты исследований в области диагностики состояния рабочей жидкости для компрессоров нефтеперекачивающей станции, на основе чего аргументируется необходимость проведения регламентированных работ. Для определения состояния рабочей жидкости компрессора предлагается специализированное оборудование. Показан пример применения предложенной установки.

V.S. Tynchenko, D.D. Meshkov, V.V. Tynchenko, V.V. Bukhtoyarov

INSTALLATION FOR TESTING THE WORKING FLUID OF A COMPRESSOR AT OIL PUMPING STATION

Keywords: compressor, hydraulic fluid, diagnostics, oil pumping station.

The article shoes the results of research in the field of fluid status diagnostics for compressors of an oil pumping station, on the basis of which the necessity of carrying out regulated works is argued. To determine the state of the working fluid of the compressor, specialized equipment is offered. An example of the proposed installation implementation is shown.

И.И. Батыршин, О.Г. Морозов, А.А. Иванов, А.Ж. Сахабутдинов, А.А. Тяжелова, Л.М. Сарварова

АНАЛИЗ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ МГНОВЕННОЙ ЧАСТОТЫ СВЧ-СИГНАЛОВ В БРИЛЛЮЭНОВСКИХ РАДИОФОТОННЫХ СИСТЕМАХ

Ключевые слова: микроволновая фотоника, измерение мгновенной частоты, вынужденное рассеяние Мандельштама-Бриллюэна, двухчастотное расщепление, метрологические характеристики.

Поставлена и решена задача определения погрешности метода измерения мгновенной частоты множества одновременно действующих в области приемной антенны СВЧ-сигналов, основанного на их последовательном частотном расщеплении в электрооптическом модуляторе на ширину контура усиления вынужденного рассеяния Мандельштама-Бриллюэна (ВРМБ) на полувысоте, фильтрации и преобразовании «частота-амплитуда» в указанном контуре, возбужденном в одномодовом оптическом волокне. Полученные оценки точности определения момента равенства амплитуд обеих частотных составляющих внутри контура ВРМБ свидетельствуют о возможности получения выигрыша по отношению сигнал/шум в 3-6 раз по сравнению с методом определения неизвестной частоты по одной составляющей и максимальному усилению контура.

I.I. Batyirshin, O.G. Morozov, A.A. Ivanov, A.J. Sakhabutdinov, A.A. Tyazhelova, L.M. Sarvarova

MEASUREMENT ERRORS ANALYSIS OF THE UHF SIGNALS INSTANT FREQUENCY IN BRILLOUIN MICROWAVE SYSTEMS

Keywords: microwave photonics, instantaneous frequency measurement, stimulated Mandelstam-Brillouin scattering, two-frequency splitting, metrological characteristics

The problem of determining the error in the method of the instantaneous frequency measuring of the simultaneously acting microwave signals set in the receiving antenna region is decided. Method based on unknown frequency splitting in the electro-optical modulator on the width at half-height of the stimulated Mandel'shtam-Brillouin scattering (SMBS) amplification contour, filtering and "frequency-amplitude" conversion in said contour, excited in a single-mode optical fiber. The carried out accuracy estimates of the moment determination of amplitudes equality of both frequency components within the SMBS contour indicate the possibility of obtaining a gain in the signal-to-noise ratio in 3-6 times in comparison with the method of determining the unknown frequency by one component and the maximum gain of the contour.

Н.Н. Беспалов, Ю.В. Горячкин, А.В. Зорькин

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ ТИРИСТОРОВ В РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ ИСПЫТАНИЯ

Ключевые слова: тиристорная структура, предельные режимы работы, шунтирование управляющего электрода, моделирование, Synopsys TCAD.

В статье на основе моделирования в программной среде Synopsys TCAD силовой тиристорной структуры приведены результаты исследования зависимостей напряжения переключения при различных способах параллельного шунтирования управляющего электрода. Выявлен наилучший вариант шунтирования управляющего электрода для достижения максимально возможной величины напряжения переключения в закрытом состоянии. Результаты исследования использованы при создании прибора для диагностики и контроля силовых тиристоров в закрытом состоянии.

N.N. Bespalov, Yu.V. Goryachkin, A.V. Zorkin

STUDY OF VOLTAGE SWITCHING OF THYRISTORS IN DIFFERENT MODES OF TESTING

Keywords: thyristor structure, limit modes of operation, shunting of the control electrode, modeling, Synopsys TCAD.

In the article on the basis of modeling in the software environment Synopsys TCAD power thyristor structure the results of the study of the dependence of the switching voltage at different methods of parallel shunting of the control electrode. The best option of shunting the control electrode to achieve the maximum possible value of the switching voltage in the closed state is revealed. The results of the study were used to create a device for the diagnosis and control of power thyristors in the closed state.

Н.Н. Беспалов, Ю.В. Горячкин, К.Ю. Панькин

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРЯМЫХ ВОЛЬТ-АМПЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДИОДНЫХ СТРУКТУР МИКРОСХЕМЫ КТ101

Ключевые слова: тепловое сопротивление, термочувствительный параметр, p–n переход, вольт-амперная характеристика, температура, микросхема, транзистор, диод.

В статье исследуется один из термочувствительных параметров полупроводниковых приборов – прямое напряжение на p–n переходе коллектор-база транзисторов кристалла микросхемы КТ101 на основе моделирования электрических и тепловых процессов в ней в программной среде Synopsys TCAD. По зависимостям прямого напряжения от температуры полупроводникового кристалла микросхемы при различных значениях прямого тока исследуется чувствительность этого параметра от температуры кристалла.

N.N. Bespalov, Y.V. Goryachkin, K.Y. Pankin

SIMULATION AND INVESTIGATION OF PARAMETERS OF THE FORWARD CURRENT-VOLTAGE CHARACTERISTICS OF DIODE STRUCTURES OF THE MICROCIRCUIT KT101

Keywords: thermal resistance, temperature-sensitive parameter, p-n-junction, current-voltage characteristic, temperature, microcircuit, transistor, diode.

The article investigates one of the thermosensitive parameters of semiconductor devices - direct voltage at the p-n junction of the collector-base of crystal transistors of the KT101 chip on the basis of modeling of electrical and thermal processes in it in the software environment of Synopsys TCAD. The dependences of the forward voltage on the temperature of the semiconductor crystal of the microcircuit for different values of the forward current investigate the sensitivity of this parameter on the temperature of the crystal.

Н.Н. Беспалов, М.В. Ильин, А.В. Мускатиньев

АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ СИЛОВЫХ ТИРИСТОРОВ И ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЦЕПИ УПРАВЛЕНИЯ

Ключевые слова: аппаратно-программный комплекс, силовой тиристор, параметры цепи управления, отпирающий постоянный ток управления, отпирающее постоянное напряжение управления.

В статье рассматривается аппаратно-программный комплекс, созданный на базе компьютерных технологий для испытания силовых тиристоров и измерения следующих параметров цепи

N.N. Bespalov, M.V. Ilyin, A.V. Muskatinyev

HARDWARE-SOFTWARE COMPLEX FOR TESTING POWER THYRISTORS AND MEASUREMENT OF PARAMETERS OF THE CONTROL CIRCUIT

Keywords: hardware-software complex, power thyristor, the parameters of the control circuit, unblanking the constant current control, gate trigger direct voltage control.

In the article the hardware and software complex created on the basis of computer technologies for testing of power thyristors and measurement of the following parameters of a control circuit is considered-the unlocking direct current of

управления –отпирающего постоянного тока управления I_{GT} и отпирающего постоянного напряжения управления U_{GT}.

Н.Н. Беспалов, А.В. Мускатиньев
ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ПРЯМОГО ПАДЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ НА СИЛОВЫХ ТИРИСТОРАХ И ДИОДАХ

Ключевые слова: силовой тиристор, силовой диод, импульс тока.

В статье рассматриваются факторы, влияющие на точность измерения импульсного падения напряжения силовых полупроводниковых приборов (СПП). Показано, что существенное влияние на результат измерения оказывает форма испытательного импульса тока. Предлагается оптимальная форма с учетом электрофизических особенностей СПП.

Н.Н. Беспалов, А.В. Мускатиньев, П.М. Дёмкин
УПРАВЛЯЕМЫЙ ГЕНЕРАТОР ИМПУЛЬСОВ НАПРЯЖЕНИЯ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ СИЛОВЫХ ТИРИСТОРОВ В СОСТОЯНИИ ВЫСОКОЙ ПРОВОДИМОСТИ

Ключевые слова: генератор импульсов, силовой тиристор, силовой диод, вольт-амперная характеристика.

В статье рассматривается работа программируемого генератора импульсов напряжения управления процессом испытания силовых тиристоров и диодов при измерении параметров вольт-амперной характеристики в состоянии высокой проводимости.

В.В. Киселев, В.Н. Осколков
КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ НА ЭТАПАХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Ключевые слова: тепловое проектирование, критерии оценки тепловых режимов, коэффициент, неравномерность, расчет перегрева модуля.

Предложена методика расчета критериев оценки тепловых режимов на этапах проектирования радиоэлектронных средств (РЭС) с применением коэффициентов неравномерности температурного поля, которые характеризуют отличие среднеповерхностного перегрева модуля РЭС от среднего перегрева модулей высшего уровня. Представлены методики вычисления коэффициентов неравномерности и приближенного расчета с их использованием перегрева и температуры элементов и модулей.

И.В. Нелин, М.К. Седанкин, В.А. Скуратов
РАДИОТЕРМОМЕТРИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ОБСЛЕДОВАНИЯ ГОЛОВНОГО МОЗГА

Ключевые слова: медицинская робототехника, радиометрический датчик, радиотермометрия, медицинские робототехнические комплексы.

Статья посвящена разработке диагностической системы на основе волноводных антенн, которая может применяться в медицинских робототехнических комплексах. Проведенные теоретические исследования возможности использования микроволновой радиотермометрии для выявления ишемического инсульта показали, что метод позволяет обнаруживать тепловые аномалии мозга и проводить его термомониторинг.

В.В Паничев, Н.А. Соловьев, А.М. Семенов
АЛГОРИТМ ОБНАРУЖЕНИЯ ОПТИЧЕСКИХ ИМПУЛЬСНЫХ СИГНАЛОВ В УСЛОВИЯХ ФОНОВЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ

Ключевые слова: корреляционная функция, сложный сигнал, согласованный фильтр, бинарный код.

В работе рассматривается способ накопления импульсов в шумах, основанный на алгоритме обработки сложных сигналов, предложена модель схемы приемника с многоканальной обработкой простого сигнала как сложного, представлены результаты оценки способа накопления сигналов, полученные с помощью имитационного моделирования.

IGT control and the unlocking constant voltage of UGT control.

N.N. Bespalov, A.V. Muskatinyev
FEATURES OF MEASUREMENT OF DIRECT VOLTAGE DROP ON POWER THYRISTORS

Keywords: power thyristor, power diode, the pulse generator current.

The article deals with the factors affecting the accuracy of the measurement of the pulse voltage drop of power semiconductor devices (PSD). It is shown that the form of the test current pulse has a significant effect on the measurement result. The optimum form taking into account electrophysical features of PSD is offered.

N.N. Bespalov, A.V. Muskatinyev, P.M. Dyomkin
CONTROLLED PULSE GENERATOR VOLTAGE FOR THE DEVICE TESTING OF POWER THYRISTORS IN A STATE OF HIGH CONDUCTIVITY

Keywords: pulse generator, power thyristor, power diode, volt-ampere characteristic.

The article deals with a programmable voltage pulse generator for controlling the process of testing power thyristors and diodes when measuring the parameters of the volt-ampere characteristics in a state of high conductivity.

V.V. Kiselev, V.N. Oskolkov
CRITERIA FOR THE EVALUATION OF THERMAL REGIMES AT ALL STAGES DESIGNS

Keywords: *thermal engineering, criteria for the evaluation of thermal regimes, coefficient, inequality, the calculation of the overheating of the module.*

The method of calculation of criteria for evaluation of thermal conditions at the stages of design of radio electronic means (RES) with the use of coefficients of temperature field irregularity, which characterize the difference between the average surface overheating of the RES module from the average overheating of the higher-level modules. Methods of calculation of coefficients of unevenness and approximate calculation with their use of overheating and temperature of elements and modules arepresented.

I.V. Nelin, M.K. Sedankin, V.A. Skuratov
RADIOMETRIC SYSTEM FOR MICROWAVE BRAIN DIAGNOSTICS

Keywords: radiometer, microwave radiometry, brain stroke detection, brightness temperature, ischemic stroke, medical robotic complexes.

The article is devoted to the development of a diagnostic system based on waveguide antennas, which can be used in medical robotic complexes. Theoretical studies of the possibility of using microwave radiometry to detect ischemic stroke have shown that the method makes it possible to detect thermal abnormalities of the brain and its thermal monitoring.

V.V Panichev, N.A. Solovyov, A.M. Semyonov
ALGORITHM OF DETECTION OF OPTICAL PULSE SIGNALS IN THE CONDITIONS OF BACKGROUND RADIATIONS

Keywords: correlation function, a complicate signal, the coordinated filter, a binary code.

The way of accumulation of impulses in noise based on an algorithm of processing of difficult signals is considered in the work, the model of the scheme of the receiver with multichannel processing of a simple signal as complicate is offered, the results of assessment of a way of accumulation of signals received by means of imitating modeling are presented.

П.В. Писарев, А.Н. Аношкин, А.Г. Захаров, К.А. Максимова, В.А. Ашихмин

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗПК СО СКАЛДЧАТЫМ ЗАПОЛНИТЕЛЕМ

Ключевые слова: складчатая звукопоглощающая конструкция, звукопоглощение, акустическая эффективность, интерферометр с нормальным падением волн, эталонные образцы.

В рамках данной работы представлены результаты лабораторных экспериментов по определению акустических характеристик образцов складчатых звукопоглощающих конструкций. Установлено, что использование взаимно перпендикулярной, шахматной схемы расположения складчатых ячеек ЗПК исключает их взаимовлияние при совместной работе.

P.V. Pisarev, A.N. Anoshkin, A.G. Zaharov, K.A. Maksimova, V.A. Ashikhmin

EXPERIMENTAL DETERMINATION OF ACOUSTIC EFFICIENCY OF SOUND-ABSORBING CONSTRUCTION WITH SCALDATI FILLER

Keywords: folded sound-absorbing structure, sound absorption, acoustic efficiency, interferometer with normal incidence of waves, reference samples.

The paper presents the results of laboratory experiments to determine the acoustic characteristics of samples of folded sound-absorbing structures. High acoustic efficiency of cubic and folded cells is revealed. It is found that the use of mutually perpendicular, the chess scheme of the location of folded cells of the PPC eliminates their mutual influence in the joint work.

П.В. Писарев, А.Г. Захаров, А.Н. Аношкин, Н.А. Мерзлякова

ЧИСЛЕННЫЙ РАСЧЕТ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЯЧЕЕК ЗПК СКЛАДЧАТОЙ ФОРМЫ

Ключевые слова: складчатая звукопоглощающая конструкция, кубические резонаторы, коэффициент потери акустического давления, метод конечных элементов, численное моделирование.

Настоящая работа посвящена исследованию акустических характеристик кубических резонаторов складчатых звукопоглощающих конструкций (ЗПК). В процессе работы сформулированы физическая и математическая модели прогнозирования эффективных акустических, свойств ячеек ЗПК. Проведены численные эксперименты по моделированию акустической волны в модельном канале с резонаторами кубической формы.

P.V. Pisarev, A.G. Zakharov, A.N. Anoshkin, N.A. Merzlyakova

NUMERICAL CALCULATION OF ACOUSTIC EFFICIENCY OF SOUND-ABSORBING CELLS OF THE STRUCTURE OF THE FOLDED FORM

Keywords: folded sound-absorbing structure, cubic resonators, acoustic pressure loss coefficient, finite element method, numerical simulation

The present work is devoted to the study of the acoustic characteristics of cubic resonators of folded sound-absorbing structures (SAS). In the process of work, the physical and mathematical models of predicting effective acoustic properties of cells (SAS) are formulated. Numerical experiments were carried out to simulate an acoustic wave in a model channel with resonators of the cubic form.

О.И. Поддаева, А.Н. Федосова, С.А. Саврасов, А.Т. Каграманян

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЕТРОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ В АЭРОДИНАМИЧЕСКОЙ ТРУБЕ С МАЛОЙ РАБОЧЕЙ ЧАСТЬЮ

Ключевые слова: аэродинамика, аэродинамическая труба, экспериментальные исследования, ветровое воздействие, строительные конструкции.

В работе представлены результаты проведения экспериментальных исследований ветрового воздействия на строительную конструкцию типовой формы в аэродинамических трубах с различными характеристиками рабочей части (зоны размещения макета). Целью проведения настоящего исследования является оценка точности и целесообразности проведения испытаний типовых строительных конструкций повышенного уровня ответственности в аэродинамических трубах с малой рабочей частью.

O.I. Poddaeva, A.N. Fedosova, S.A. Savrasov, A.T. Kagramanyan

EXPERIMENTAL STUDY OF WIND IMPACT ON BUILDING STRUCTURES IN A WIND TUNNEL WITH A SMALL WORKING PART

Keywords: aerodynamics, wind tunnel, experimental studies, wind impact, building structures.

The paper presents the results of experimental studies of the wind impact on the construction structure of a standard form in wind tunnels with different characteristics of the working part (the layout zone). The purpose of this study is to assess the accuracy and feasibility of testing typical building structures of an increased level of responsibility in wind tunnels with a small working part.

Т.Р. Сахбиев

ОПТИЧЕСКИЕ ВЕКТОРНЫЕ АНАЛИЗАТОРЫ СЕТЕЙ СИММЕТРИЧНОГО ТИПА

Ключевые слова: микроволновая фотоника, оптический векторный анализатор сетей, амплитудно-фазовое преобразование оптической несущей в симметричное двухчастотное излучение, расщепление боковых составляющих, диапазон измерений.

В статье рассмотрены принципы построения оптических векторных анализаторов сетей (ОВАС) симметричного типа на основе амплитудно-фазового преобразования несущей, позволяющего повысить точность измерений амплитудных, частотных и фазовых характеристик исследуемых элементов. В отличие от существующих ОВАС указанного типа в первом варианте используется соотношения по двум равным по амплитуде боковым составляющим зондирующего излучения, предварительно расщепленных на величину в 50-100 МГц. Во втором варианте используется преимущество схемы амплитудного модулятора Маха-Цендера (АММЦ) – формировать различный спектр выходного излучения при смещении в различные рабочие точки. При этом излучение оптической несущей может быть подавлено, либо последняя

T.R. Sakhbiev

OPTICAL VECTOR NETWORK ANALYZER OF SYMMETRICAL TYPE

Keywords: microwave photonics, optical vector network analyzer, the amplitude-phase conversion of the optical carrier into symmetrical two-frequency radiation, splitting of side components, measurement range.

The principles of constructing an optical vector network analyzer (OVNA) of a symmetric type based on the amplitude-phase carrier transformation, which allows to increase the accuracy of measurements of the amplitude, frequency and phase characteristics of the elements under investigation are considered in the article. In contrast to the existing OVNA of this type, the first version uses the ratios of two equal-amplitude side components of the probing radiation, previously split by 50-100 MHz. In the second variant, the advantage of the Mach-Zehnder amplitude modulator (AMMZ) scheme is used - to form a different spectrum of output radiation when shifted to different operating points. In this case, the radiation from the optical carrier can be suppressed, or the latter can be used as a local oscillator, and the measuring range is doubled

может быть использована как гетеродин, а диапазон измерения повышен в два раза по сравнению с однополосными схемами.

compared to single-sideband circuits.

А.С. Шарафутдинов, Ю.И. Шакиров, Р.И. Валиев, А.А. Хафизов, Л.Н. Дрогайлова

ПОТЕНЦИАЛ РАЗВИТИЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН

Ключевые слова: ветродвигатель, роза ветров, скорость ветра.

В работе представлено изучение розы ветров и среднегодовой скорости ветра на территории Республики Татарстан, с целью определения потенциала развития ветроэнергетики в данном регионе. По полученным результатам произведен выбор типа ветродвигателя.

A.S. Sharafutdinov, Yu.I. Shakirov, R.I. Valiev, A.A. Khafizov, L.N. Drogailova

POTENTIAL FOR THE DEVELOPMENT OF WIND POWER IN THE TERRITORY OF THE REPUBLIC OF TATARSTAN

Keywords: wind generator, wind rose, wind speed.

The paper present a studying of wind rose and average annual wind speed in the territory of the Republic of Tatarstan with a view to determine the potential for the development of wind power in this area. Based on the results obtained, the most suitable wind generator was selected.

А.Г. Шляхова, А.Т. Шляхов, Ю.Б. Греков

ИЗМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ ПЛЕНОК PbSnTe ПРИ ОБЛУЧЕНИИ ИНФРАКРАСНЫМ ЛАЗЕРОМ

Ключевые слова: эпитаксиальные пленки, инверсия типа проводимости, инфракрасное лазерное излучение, вакансии.

Исследованы процессы инверсии типа проводимости в эпитаксиальных плёнках $Pb_{1-x}Sn_xTe$ при воздействии непрерывного излучения CO_2 – лазера (λ=10,6 мкм) допороговой мощности. Предполагается, что стабильное инверсионное состояние возникает вследствие образования нейтральных бивакансий металла и халькогена.

A.G. Shlyakhova, A.T. Shlyakhov, Yu.B. Grekov

CHANGE OF ELECTROPHYSICAL PROPERTIES OF EPITAXIAL FILMS OF PbSnTe AT RADIATION BY THE INFRARED LASER

Keywords: epitaxial films, the conductivity type inversion, the infr ared laser radiation, vacancies of metal and chalcogen.

The conductivity type inversion processes in PbSnTe epitaxial films under continuous CO_2 laser radiation with power density below the recrystallization threshold were investigated. It is supposed that the stable inversion state owes its existense to the formation of neutral bivacancies of metal and chalcogen.

А.И. Акимов, И.А. Акимов, В.А. Урбан

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ, РАСЧЕТНЫХ ФОРМУЛ ТЕПЛООБМЕНА НА ТРЕТЬЕМ ЭТАПЕ ПРОИЗВОДСТВА МНОГОСЛОЙНЫХ КОНСТРУКЦИЙ СФЕРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ МЕТОДОМ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ

Ключевые слова: многослойная конструкция, связующее, полимеризация, сферическая форма, авиационная промышленность, космическая техника, третий этап.

В работе рассматривается охлаждение многослойного изделия сферической формы после завершения процесса полимеризации связующего, что соответствует третьему этапу производства. Такие изделия широко используются в авиационной промышленности, космической технике и в некоторых других отраслях народного хозяйства.

A.I. Akimov, I.A. Akimov, V.A. Urban

RESEARCH AND DEVELOPMENT OF MATHEMATICAL MODELS, CALCULATED FORMULAS OF HEAT EXCHANGE AT THE THIRD STAGE OF MANUFACTURE OF MULTILAYER CONSTRUCTIONS OF THE SPHERICAL FORM BY METHOD OF POLYMERIZATION

Keywords: multi-layer construction, binder, polymerization, spherical shape, aviation industry, space technology, the third stage.

The paper considers the cooling of a multilayer spherical product after the polymerization of the binder, which corresponds to the third stage of production. Such products are widely used in the aviation industry, space technology and in some other branches of the national economy.

Г.Ф. Ахмедьянова, Т.А. Пищухина, А.М. Пищухин

МЕТАСИСТЕМНАЯ ЗАДАЧА УПРАВЛЕНИЯ ГОТОВНОСТЬЮ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ К ФУНКЦИОНИРОВАНИЮ

Ключевые слова: метасистема, готовность технических средств, оптимальное управление, диспетчерские функции.

В работе представлена постановка и решение задачи синтеза оптимальной подготовки технических систем к реализации технологического процесса. Решение проведено с помощью метода Эйлера-Лагранжа на основе функционала Летова. Показано, что интенсивность приложения управляющих воздействий должна экспоненциально возрастать, а время на подготовку технических средств необходимо определять из условия одинаковой интенсивности для всех операций.

G.F. Akhmedyanova, T.A. Peshchukhina, A.M. Peshchukhin

METASYSTEM TASK OF MANAGING THE READINESS OF TECHNICAL FACILITIES TO OPERATION

Keywords: metasystem, availability of technical means, optimal control, dispatch functions.

The paper presents the formulation and solution metasystem task of managing the readiness of technical facilities to operation. The solution is carried out using the Eulerian-Lagrangian method based on Letov functional. It is shown that the intensity of the control actions application should increase exponentially, and the time for the preparation of technical means should be determined from the conditions of the same intensity for all operations

В.Ю. Бегенеев, И.А. Шмидт, B. Krause

ПОДХОД DATA MINING ДЛЯ ЗАДАЧИ КЛАССИФИКАЦИИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА

Ключевые слова: случайный лес, QRS комплекс, электрокардиография.

Статья посвящена классификации сердечного ритма. Показаны собранные данные и нетипичные признаки влияющие на классификацию. В результате исследования проведен анализ шести методов классификации.

V.Y. Begeneev. I.A. Shmidt, B. Krause

DATA MINING APPROACH FOR THE PROBLEM OF CLASSIFICATION OF HEART BEAT

Keywords: random forest, QRS complex , electrocardiography.

The article is devoted to the classification of the heart beat. The collected data and atypical features influencing the classification are shown. As a result of the research, six classification methods were analyzed.

М.В. Беленко, П.В. Балакшин

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПОРТИРОВАНИЯ ПРИЛОЖЕНИЙ МЕЖДУ СИСТЕМАМИ РАСПОЗНАВАНИЯ РЕЧИ

Ключевые слова: распознавание речи, CMU Sphinx, HTK, портирование, API, Coccinelle.

В рамках работы было проведено исследование возможности портирования между системами распознавания речи, а также его автоматизации. Для этого было осуществлено ручное портирование макета приложения, использующего систему HTK, на систему CMU Sphinx. Также исследована возможность автоматизации данного процесса. В результате автоматизированное портирование реализовано с помощью системы Coccinelle.

M.V. Belenko, P.V. Balakshin

AUTOMATIZATION OF THE APPLICATION PORTING BETWEEN THE SPEECH RECOGNITION SYSTEMS

Keywords: speech recognition, CMU Sphinx, HTK, porting, API, Coccinelle.

In this work the research of the possibility of application porting between speech recognition systems was made. The manual porting of the test application was made for this purpose. Also, the possibility of the given process automatization was investigated. As a result, automated porting was implemented using the Coccinelle system.

С.В. Бочкарев, Р.Р. Хисамов

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УСТРОЙСТВ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ ТЕРМИНАЛОВ В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Ключевые слова: Релейная защита и автоматика, автоматизированные системы управления, надежность, интеграция.

В статье рассмотрены требования к современным системам защит и автоматики. Проанализировано применение микропроцессорных терминалов в области автоматизированных системах управления технологических процессов. Предложены возможные направления совершенствования релейной защиты и автоматики.

S.V. Bochkarev, R.R. Khisamov

IMPROVING THE EFFICIENCY OF DEVICES OF RELAY PROTECTION AND AUTOMATION WITH USE OF MICROPROCESSOR-BASED TERMINALS IN AUTOMATED CONTROL SYSTEMS OF TECHNOLOGICAL PROCESSES

Keywords: Relay protection and automation, automated control system of technological processes, efficiency, reliability, integration.

The article discusses the requirements for modern protection systems and automatics, and also analyzed the use of intelligent terminals in the field of automated control systems of technological processes. Proposed possible ways of improving the relay protection and automation.

В.С. Быков, П.В. Балакшин

ИССЛЕДОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ ТЕЛЕФОННЫХ СЛУЖБ ПОДДЕРЖКИ КЛИЕНТОВ

Ключевые слова: телефонная служба поддержки клиентов, распознавание речи, Asterisk, CMD, CMU Sphinx.

В рамках статьи ставится задача провести исследование возможности оптимизации работы телефонной службы поддержки клиентов вместе с автоматизацией системы контроля качества. Для реализации выбраны системы с открытым исходным кодом Asterisk и CMU Sphinx. Результатом работы является реализованная система контроля качества операторов, позволяющая проводить анализ записанных разговоров и сравнивать статистику по ним с эталонными значениями. Система позволяет оптимизировать работу телефонной службы поддержки за счёт уменьшения влияния человеческого фактора на оценку работы оператора и уменьшения трудозатрат на анализ статистики и прослушивания разговоров клиентов.

V.S. Bykov, P.V. Balakshin

RESEARCH AND OPTIMIZATION OF THE CUSTOMER TELEPHONE SUPPORT SERVICE

Keywords: customer telephone support service, speech recognition, Asterisk, CMD, CMU Sphinx.

This article deals with the research of the customer telephone support service work optimization together with the quality control system automation. The open source systems Asterisk and CMU Sphinx were chosen for implementation. The result of the work is the implemented system of operators' quality control, that allows to analyse recorded conversations and compare statistics of them with reference values. The system allows to optimize the work of the customer telephone support service by reducing the impact of the human factor on the operator's evaluation and by reducing the labor costs for analysing statistics and listening to customer conversations.

Т.В. Гаибова

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ОПТИМАЛЬНОЙ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ФАЗЫ ИНВЕСТИЦИОННОГО ПРОЕКТА

Ключевые слова: эксплуатационная фаза, горизонт планирования, производственный потенциал, рыночный потенциал, нечеткая логика, требования инвестора.

В статье описана методика определения продолжительности проектов развития промышленных предприятий на основе производственных, рыночных и инвестиционных факторов. В качестве основного инструмента используется нечеткий алгоритм Мамдани. Приведено описание лингвистических переменных, правило выбора горизонта планирования и результаты экспериментальной апробации методики для конкретного инвестиционного проекта с использованием модуля Fuzzy Logic Toolbox пакета MatLab и программного средства Project Expert.

T.V. Gaibova

METHOD OF ESTIMATION OF THE OPTIMUM DURATION OPERATING PHASE OF THE INVESTMENT PROJECT

Keywords: operational phase, planning horizon, production potential, market potential, fuzzy logic, investors' requirements.

The article describes the method for determining the duration of projects for the development of industrial enterprises on the basis of production, market and investment factors. As the main tool, Mamdani's fuzzy algorithm is used. The description of linguistic variables, the rule of choosing the planning horizon and the results of experimental approbation of the method for a particular investment project are given using the MatLab Fuzzy Logic Toolbox module and the Project Expert software.

В.В. Гаряева

АВТОМАТИЗАЦИЯ МОНИТОРИНГА СТРОИТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ УДАЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

Ключевые слова: информационное моделирование, системы видеонаблюдения, 4D, BIM, мониторинг строительной деятельности.

В статье представлены результаты анализа актуальности и эффективности применения автоматизированной технологии на базе систем видеонаблюдения и 4d моделирования, для мониторинга строительной деятельности удаленных строительных объектов.

V.V. Garyaeva

AUTOMATION OF MONITORING OF CONSTRUCTION ACTIVITY OF REMOTE OBJECTS

Keywords: information modeling, video surveillance systems, 4D, BIM, monitoring of construction activities.

The article presents the results of the analysis of the relevance and effectiveness of the application of automated technology based on video surveillance systems and 4d modeling, for monitoring the construction activity of remote construction sites.

В.В. Гаряева

АВТОМАТИЗАЦИЯ СИНХРОНИЗАЦИИ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ ДАННЫХ BIM-МОДЕЛИ ЗДАНИЯ НА БАЗЕ RFID ТЕХНОЛОГИИ

Ключевые слова: BIM, облачные вычисления, технология RFID, управление строительством.

В статье представлены результаты анализа актуальности и эффективности применения автоматизированных технологий радиочастотной идентификации (RFID), как инструмента синхронизации информации в режиме реального времени строительной деятельности на объектах с данными BIM-модели этих объектов.

V.V. Garyaeva

AUTOMATION OF SYNCHRONIZATION IN REAL TIME OF DATA BIM-MODELS BUILD ON THE BASIS OF RFID TECHNOLOGY

Keywords: BIM, cloud computing, RFID technology, construction management

The article presents the results of the analysis of the relevance and effectiveness of the application of automated radio frequency identification (RFID) technologies as a tool for synchronizing information in real time construction activity on objects with BIM-model data of these objects.

А.В. Гинзбург, О.Н. Кузина, А.И. Рыжкова

ЕДИНАЯ СИСТЕМА МАРКИРОВКИ РЕСУРСОВ КАК СПОСОБ РАЗВИТИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Ключевые слова: маркировка, материально-технические ресурсы, искусственный интеллект, нейронные сети, штрих-коды.

Одной из задач функционирования строительных организации является своевременное и комплектное обеспечение строительных объектов необходимыми материально-техническими ресурсами. Реализация на уровне предприятия или государства единой системы маркировки материально-технических ресурсов открывает широкие возможности по развитию в строительной сфере технологии искусственного интеллекта.

A. Ginzburg, O. Kuzina, A. Ryzhkova

MARKING SYSTEM OF CONSTRUCTION RESOURCES AS ELEMENT OF DIGITAL INTELLIGENCE

Keywords: marking, material and technical resources, digital intelligence, neural networks, barcodes.

One of issues of construction organization is the permanent procurement of construction site with the necessary material and technical resources. Implementation of unified marking system of material and technical resources at the level of the enterprise or the state opens up wide range of opportunities for the development of digital intelligence technology in the construction sector.

Д.В. Горбачев

МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ ИНФОРМАЦИОННО-ПОИСКОВОЙ СИСТЕМЫ ЛЕКАРСТВЕННЫХ ПРЕПАРАТОВ

Ключевые слова: лекарственные препараты, модель поиска, сервис-ориентированная информационная система, бюджетные ограничения, модель кластеризации.

Актуальность решение задачи автоматизации поиска и подбора аптек заключается в необходимости информационной поддержки покупателей при решении задач обеспечения лекарственными препаратами и создания условий для повышения качества медицинской помощи. В работе предлагается подход разбиения аптек на кластеры с целью предоставления покупателю возможности выбора места покупки исходя из своих возможностей: финансы, время, транспорт. Предлагаемый алгоритм положен в основу математического обеспечения распределенной информационной системы лекарственного обеспечения рецептурными препаратами

D.V. Gorbachev

MODELS AND ALGORITHMS OF INFORMATION AND SEARCH SYSTEM OF MEDICINAL DRUGS

Keywords: medicines, search model, service-oriented information system, budget constraints, clustering model

The relevance the decision of the task of automation of search and selection of drugstores consists in need of information support of buyers in case of the decision of tasks of support with medicines and creations of conditions for improvement of quality of medical care. In this article approach of division of drugstores into clusters for the purpose of provision is offered to the buyer of a possibility of a choice of the place of purchase proceeding from the opportunities: finance, time, transport. Offered an algorithm it is the basis for software of the distributed information system of support with drugs

Д.А. Даденков, Е.М. Солодкий, О.Р. Гусманов

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПОИСКА ДЕФЕКТОВ БУМАЖНОГО ПОЛОТНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМЫ МАШИННОГО ЗРЕНИЯ

Ключевые слова: дефект, бумажное полотно, машинное зрение, обработка изображения, автоматизация.

В работе рассмотрена актуальная проблема целлюлозно-бумажного производства, связанная с автоматизацией процесса поиска дефектов бумажного полотна. Представлен обзор возможных дефектов полотна и причины их возникновения. Предложены варианты решения обозначенных проблем с использованием системы машинного зрения.

D.A. Dadenkov, E.M. Solodkiy, O.R. Gusmanov

AUTOMATION OF DEFECTS SEARCH OF THE PAPER CLOTH WITH USE SYSTEMS OF MACHINE VISION

Keywords: defect, paper cloth, machine vision, image processing, automation.

The article considers the actual problem of pulp and paper production associated with the automation of the process of searching for defects in paper cloth. An overview of the possible defects of the paper and the reasons for their occurrence are presented. The variants of solving the indicated problems with use of the computer vision system are proposed.

Т.А. Деменкова, А.А. Финенко, Д.Д. Яровов
АЛГОРИТМ СВЕРТКИ ДЛЯ ЗАДАЧИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

Ключевые слова: алгоритм свертки, многовариантная грей-модель, солнечная энергия, прогнозирование измерений.

Работа посвящена задаче прогнозирования поведения солнечной энергии при разработке систем на солнечных батареях. Рассматривается метод на основе многовариантной грей-модели с использованием алгоритма свертки, который обеспечивает альтернативный подход к физическому моделированию данных. Предложено использование модели расчетов, основанной на трех основных переменных для предсказания количества произведенной энергии с учетом сезонности, в которую происходит прогнозирование выработки энергии. Предложенное решение позволяет повысить точность прогнозирования изменений в выходной последовательности данных, относящихся к рассматриваемой задаче.

T.A. Demenkova, A.A. Phinenko, D.D. Yarovov
CONVOLUTION ALGORITHM FOR THE PREDICTION PROBLEM

Keywords: convolution algorithm, a multivariate grey-model, solar energy, forecasting of measurements.

The work is devoted to the task of predicting the behavior of solar energy in the development of solar-powered systems. We consider a method based on a multivariate grey model using the convolution algorithm, which provides an alternative approach to physical modeling of data. The use of a calculation model based on three main variables to predict the amount of energy produced taking into account the seasonality. The proposed solution makes it possible to increase the accuracy of forecasting changes in the output data sequence related to the problem under consideration.

А.В. Иващенко, С.А. Корчивой
МОДЕЛЬ ИНФРАСТРУКТУРНОГО ВОЗВРАТА В ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКЕ

Ключевые слова: цифровая экономика, модель инфраструктурного возврата, виртуальный посреднический оператор.

В работе предлагается модель инфраструктурного возврата, учитывающая особенности планирования и мониторинга исполнения проектов по развитию цифровой экономики. Предлагаемая модель основана на концепции виртуальных посреднических операторов для управления цифровыми социальными и экономическими системами. Реализация предложенной модели производится для проектов развития информационно-коммуникационных технологий и сетей связи.

A.V. Ivaschenko, S.A. Korchivoy
INFRASTRUCTURAL RETURN IN DIGITAL ECONOMICS

Keywords: digital economics, infrastructural return model, intermediary service operator

This paper presents the model of infrastructural return that considers the features of project planning and execution monitoring in digital economics. The proposed model is based on the model of virtual intermediary operators for digital social and economical systems management. Its implementation is carried out for media networks development.

А.В. Иващенко, П.В. Ситников, О.Л. Сурнин
АКЦЕНТНАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ В СИТУАЦИОННЫХ ЦЕНТРАХ

Ключевые слова: ацентная визуализация, дополненная реальность, ситуационный центр, корпоративное управление.

В статье описывается новая концепция акцентной визуализации для интерактивных пользовательских интерфейсов, реализующих современные технологии виртуальной и дополненной реальности. Концепция акцентной визуализации предназначена для ситуационных центров корпоративного и регионального управления. Эффективность предложенной технологии подтверждается успешным применением в ситуационных центрах управления производственными предприятиями, холдингами и логистическими центрами.

A.V. Ivaschenko, P.V. Sitnikov, O.L. Surnin
ACCENTED VISUZUAIZATION FOR SITUATION CENTERS

Keywords: accented visualization, augmented reality, situation centre, corporate management

This paper presents a new concept of "accented visualization" for interactive user interfaces implementing modern technologies of virtual and augmented reality. The concept is intended for corporate and regional management situation centres. Its efficiency is proven by successful implementation in several successful projects for production enterprises, holdings and logistics suppliers.

А.Н. Илюхин, Ш.А. Хамадеев, Ш.Ш. Хузятов
ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ ДИЗЕЛЕМ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

Ключевые слова: нечеткая логика, дизель, математическая модель, лингвистическая переменная.

Настоящая статья посвящена рассмотрению методики управления режимами работы дизеля с использованием базы знаний нечетких правил. На основе предложенной методики проведен анализ полученной математической модели управления дизелем, реализованной в виде программного продукта. Полученная математическая модель двигателя позволяет производить управление с точностью 1,57%.

A.N. Iliukhin, Sh.A. Hamadeev, Sh.Sh. Khuzyatov
CONSTRUCTION OF THE MATHEMATICAL MODEL OF A DIESEL CONTROL BASED ON FUZZY LOGIC

Keywords: fuzzy logic, diesel, mathematical model, linguistic variable

The present article is devoted to the consideration of the technique for controlling the operating modes of a diesel engine using the knowledge base of fuzzy rules. Based on the proposed methodology, an analysis is made of the mathematical model of diesel engine control realized as a software product. The received mathematical model of the engine allows to make control with accuracy of 1,57%.

А.Н. Илюхин, Ш.Ш. Хузятов, Р.А. Валиев
МЕТОДИКА РАЗРАБОТКИ СИСТЕМЫ ДИСПЕТЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ ОБЪЕКТОВ НЕФТЕДОБЫЧИ

Ключевые слова: автоматизированная система управления, шаблонное проектирование, диспетчерское управление, нефтяное оборудование.

Предложена методика разработки программного обеспечения для автоматизированных систем управления объектами добычи нефти. Методика основана на единообразии алгоритмов обработки данных датчиков и генерирования управляющих сигналов для исполнительных устройств нефтяного

A.N. Iliukhin, Sh.Sh. Khuzyatov, R.A. Valiev
SUPERVISORY CONTROL SOFTWARE ENGINEERING FOR OIL PRODUCTION FACILITIES

Keywords: automated control system, template engineering, supervisory control, oil equipment.

The technique of software development for automated control systems of oil production facilities is proposed. The technique is based on the uniformity of algorithms for processing sensor data and generating control signals for actuators of oil equipment. The data types, approaches of data storage, organization of network data exchange and actuator

оборудования. В шаблонных проектах нижнего и верхнего уровней определены типы данных, способы их хранения и организация межуровневого обмена, функциональность элементов управления. Использование шаблонных проектов позволяет уменьшить объем выполняемых работ при разработке автоматизированных систем управления технологическими процессами добычи нефти.

functionality are defined in technique. The use of template projects allows to reduce the amount of the performed works at development of the automated control systems of technological processes of oil production.

В.П. Казанцев, Д.А. Даденков, Е.О. Копылов

МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА СЕТОЧНОЙ ЧАСТИ БУМАГОДЕЛАТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ

Ключевые слова: бумагоделательная машина, сеточная часть, электропривод, система управления.

В работе рассмотрены результаты проведения модернизации системы управления электропривода сеточной части бумагоделательной машины. Определены основные требования к автоматизированному электроприводу и описаны функции модернизированной системы. Представлена структурная схема автоматизированной системы управления электроприводом сеточной части.

V.P. Kazantsev, D.A. Dadenkov, E.O. Kopylov

MODERNIZATION OF THE ELECTRIC DRIVE CONTROL SYSTEM FOR THE MESH PART OF PAPER MACHINE

Keywords: paper machine, mesh part, electric drive, control system.

In paper results of modernization of the electric drive control system for the mesh part of paper machine are considered. The main requirements to the automated electric drive are defined and the functions of the modernized system are described. The block diagram of an automated electric drive control system of a mesh part is presented.

А.Д. Кирьянов, А.Н. Лыков

ПРИМЕНЕНИЕ СТАНДАРТА МЭК 61850 В СИСТЕМЕ СБОРА И ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ

Ключевые слова: стандарт, МЭК 61850, протокол.

Настоящая статья посвящена исследованию целесообразности применения стандарта МЭК 61850 «Коммуникационные сети и системы подстанций» на примере типовой подстанции. Оборудование релейной защиты и автоматики выбрано на основе рекомендаций по импортозамещению, а также исходя из совместимости данного оборудования со стандартом МЭК 61850.

A.D. Kiryanov, A.N. Lykov

APPLICATION OF THE IEC 61850 STANDARD IN THE COLLECTION AND TRANSFER OF INFORMATION SYSTEM

Keywords: standard, IEC 61850, protocol.

This article is devoted to a comparison of the two standards used for the design of the communication and information transmission system at substations, as well as the feasibility of applying the innovative IEC 61850 "Communication networks and substation systems" using the example of a typical substation. Looking at the trend of the network infrastructure of substations at the moment, you can see the problem of accurate monitoring of energy consumption by consumers, which directly affects the economy, as well as the cost of personnel maintenance equipment of the substation. This standard is designed to solve this problem using innovative methods of communication between substation equipment.

А.А. Кольчурин, А.В. Трусов, В.А. Трусов

ПОДХОДЫ И МЕХАНИЗМЫ ФОРМИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ НАУЧНОГО И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ ТЭК

Ключевые слова: информационная поддержка, научно-технологическое развитие ТЭК, инновационные технологии, научно-техническая информация, база данных.

В работе рассматриваются основные подходы и механизмы формирования системы информационной поддержки научного и технологического развития отраслей ТЭК. Разработана структура системы. Предложены основные механизмы системы информационной поддержки.

A.A. Kolchurin, A.V. Trusov, V.A. Trusov

APPROACHES AND MECHANISMS FOR THE FORMATION OF THE INFORMATION SUPPORT SYSTEM FOR THE SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL DEVELOPMENT OF THE FUEL AND ENERGY COMPLEX

Keywords: information support; scientific and technological development of the energy sector; innovative technologies; scientific and technical information, database.

The paper considers the main approaches and mechanisms for the formation of a system of information support for the scientific and technological development of the fuel and energy sector. The structure of the system is developed. The basic mechanisms of the information support system.

А.Д. Курзанов, Ю.А. Русских

АЛГОРИТМЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ПОДДЕРЖКИ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ ПРОИЗВОДСТВА НЕАВТОКЛАВНОГО ГАЗОБЕТОНА

Ключевые слова: неавтоклавный газобетон, технологический процесс производства, интеллектуальная система, алгоритм, экспертная система, метод Нелдера-Мида.

В статье представлены алгоритмы интеллектуальной поддержки принятия решений при управлении технологическим процессом производства неавтоклавного газобетона в условиях нестабильного качества сырья. Интеллектуальная поддержка основана на взаимодействии технологии экспертных систем и метода формального поиска оптимума. Комплексное использование двух методов позволяет достичь синергетического эффекта, что проявляется в снижении количества экспериментальных замесов, требуемых для оптимизации параметров технологического процесса.

A.D. Kurzanov, Y.A. Russkih

ALGORITHMS OF INTELLECTUAL DECISION SUPPORT IN THE CONTROL OF THE NON-AUTOCLAVED AERATED CONCRETE TECHNOLOGICAL PRODUCTION PROCESS

Keywords: non-autoclaved aerated concrete, technological production process, intellectual system, algorithm, expert system, the Nelder-Mead method.

The algorithms of intellectual decision support in the control of the non-autoclaved aerated concrete technological production process in conditions of unstable quality of raw materials are presented in the article. Intelligent support is based on the interaction of expert systems technology and the formal optimum search method. The integrated use of two methods allows to achieve a synergistic effect. This consists in reducing the number of experimental mixtures required to optimize the process parameters.

С.Д. Мезенцев, А.Н. Лыков

РЕАЛИЗАЦИЯ ЦИФРОВОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПОДСТАНЦИИ НА БАЗЕ ОТЕЧЕСТВЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Ключевые слова: цифровая электрическая подстанция, протокол передачи данных, активно-адаптивная сеть.

Рассмотрены аспекты реализации цифровых электрических подстанций в рамках активно-адаптивных систем электроснабжения. Рассмотрены уровни сбора и передачи данных. Проведен анализ вариантов реализации различных уровней в рамках отечественного производства.

S.D. Mezentsev, A.N. Lykov

REALIZATION OF THE DIGITAL ELECTRIC SUBSTATION ON THE BASIS OF THE DOMESTIC EQUIPMENT

Keywords: digital electrical substation, data transfer protocol, active-adaptive network.

The aspects of implementation of digital electrical substations within the framework of active-adaptive power supply systems are considered. The levels of data collection and transmission are considered. The analysis of variants of realization of various levels within the framework of domestic production is carried out.

В.А. Меньшенин, А.Н. Лыков

АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМОЙ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА

Ключевые слова: контур регулирования, чиллер, драйкулер, осушитель, система кондиционирования, контур циркуляции.

В работе рассмотрены алгоритмы управления системой кондиционирования воздуха. Описаны принципы работы контура циркуляции хладагента. Приведены рекомендации по настройке системы автоматического управления.

V.A. Menshenin, A.N. Lykov

CONTROL ALGORITHM OF AIR CONDITIONING SYSTEM

Keywords: control loop, chiller, drycooler, the desiccant, conditioning system, circulation circuit.

This article is devoted to control algorithms for air conditioning. The principles of operation of the refrigerant circuit are described. The recommendations for tuning the automatic control system are given.

М.В. Овечкин, М.А. Корнипаев, Ю.И. Овечкина

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО КОНТРОЛЯ СПЛОШНОСТИ ИЗДЕЛИЙ НА ОСНОВЕ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПЛАСТИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЙ

Ключевые слова: автоматизация контроля, сплошность изделий, холодная штамповка, обработка металлов давлением, компьютерное моделирование.

В работе представлены результаты системного анализа по теме возможности автоматизации предварительного контроля сплошности изделий. Целью исследования является анализ возможности предварительного компьютерного контроля сплошности изделий на основе моделирования операционных инструментов. В качестве границ исследования выбраны методы производства изделий при помощи пластических деформаций на примере холодной штамповки. Приведена функциональная модель автоматизации предварительного контроля. Сделаны выводы о проблематике процессов автоматизации предварительного контроля сплошности изделий.

M.V. Ovechkin, M.A. Kornipaev, U.I. Ovechkina

AUTOMATION OF PRELIMINARY CONTROL OF PRODUCT MISSILE BASED ON COMPUTER SIMULATION

Keywords: automation of control, solidity of products, cold stamping, metal forming, computer modeling.

This paper presents the results of the system analysis on the subject of automation of the preliminary control of the continuity of products. The purpose of the study is to analyze the possibility of preliminary computer control of the continuity of products based on the modeling of operational instruments. As the boundaries of the study, methods for the production of articles by means of plastic deformations are chosen for the example of cold stamping. The functional model of automation of preliminary control is given. Conclusions are drawn about the problems of automation of preliminary control over the continuity of products.

А.В. Парамонов

РАСШИРЕННЫЕ СРЕДСТВА ДЕКЛАРАТИВНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ ЛОГИЧЕСКИХ КОНТРОЛЛЕРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИЗУАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ

Ключевые слова: автоматизация программирования, программируемый логический контроллер, визуальная модель промышленной установки, визуальное программирование.

В статье рассматриваются графические (визуальные) модели промышленных установок. Рассматривается метод декларативного визуального программирования логических контроллеров с использованием графических (визуальных) моделей промышленных установок. Описываются принципы проектирования в рамках данного подхода алгоритмов логического управления с аналоговыми сигналами, временными задержками и счётчиками.

A.V. Paramonov

ADVANCED TOOLS OF DECLARATIVE PLC PROGRAMMING USING VISUAL MODELS

Keywords: automatic programming, programmable logic controller, visual model of industrial plant, visual programming

The paper discusses a graphical (visual) model of industrial plants. The article considers a method of declarative visual PLC programming using graphical (visual) models of industrial plants. It also describes the principles of designing logical control algorithms with analog signals, time delays and counters in this approach.

П.А. Пуеров, А.Н. Лыков

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ИНВЕРТОРЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ

Ключевые слова: инвертор, полупроводник, частота, транзистор, тиристор, источники питания, стабилизация.

Статья посвящена специальным электронным силовым полупроводниковым устройствам, называемым инверторами. Рассмотрены основные свойства и принцип действия приборов. Описана область их практического применения.

P.A. Puerov, A.N. Lykov

SEMICONDUCTOR INVERTERS AND THEIR APPLICATION IN MODERN TECHNOLOGIES

Keywords: inverter, semiconductor, transistor, tiristor, welding, power supplies, stabilization.

The present article is devoted to the special electronic power semiconductor devices, called by inverters and the fields of their application. The basic properties and principle of devices operation are considered. The field of their practical application is described.

А.В. Рыбина, В.В. Гаряева

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОГРАММ МОДЕЛИРОВАНИЯ 3D-ОБЪЕКТОВ В СТРОИТЕЛЬНОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ

Ключевые слова: 3D-моделирование, 3D-графика, 3D-визуализация, 3D-анимация, метод анализа иерархий, функция полезности.

В статье представлены результаты анализа эффективности применения программ 3D-моделирования в сфере строительного проектирования проведенного с использованием метода анализа иерархий.

A.V. Rybina, V.V. Garyaeva

ANALYSIS OF EFFICIENCY OF APPLICATION OF PROGRAMS OF MODELING 3D OBJECTS IN CONSTRUCTION DESIGN

Key words: 3D-modeling, 3D-graphics, 3D-visualization, 3D-animation, the method of analysis of hierarchies, utility function.

The article presents the results of the analysis of the effectiveness of 3D modeling applications in the field of building design conducted using the hierarchy analysis method.

Ю.С. Сахалтуева, В.С. Тынченко, В.В. Тынченко, В.В. Бухтояров

МЕТОД ПОИСКА ДУБЛИРУЮЩИХ ОБЪЯВЛЕНИЙ НА ПОРТАЛЕ НЕДВИЖИМОСТИ

Ключевые слова: классификация данных, искусственные нейронные сети, веб-сайт, недвижимость.

В статье рассматривается проблема дублирования объявлений на сайтах недвижимости. В качестве средства решения данной проблемы предлагается использовать технологию классификации данных. В работе производится выбор наиболее эффективного метода классификации данных для решения поставленной задачи.

Yu.S. Sakhaltueva, V.S. Tynchenko, V.V. Tynchenko, V.V. Bukhtoyarov

THE METHOD OF SEARCHING FOR DUPLICATE ADS ON THE REAL ESTATE PORTAL

Keywords: *data classification, artificial neural networks, web-site, real estate.*

The article considers the problem of duplicating ads on real estate sites. As a means of solving this problem, it is proposed to use data classification technology. In the work the choice of the most effective method of data classification is made.

Д.А. Селиванова, Ф.А. Попов, М.Н. Школьникова, О.А Бубарева

РЕЗУЛЬТАТЫ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ НАПИТКОВ

Ключевые слова: продукты питания, автоматизация процесса проектирования рецептуры, система автоматизированного проектирования.

В работе приведены особенности и результаты реализации системы автоматизированного проектирования функциональных безалкогольных напитков из растительного сырья, в качестве одной из основных отмечено использование для хранения всех видов данных процесса проектирования единого интегрированного хранилища. Приведена структура системы, представлен пример расчета средствами системы рецептуры бальзамного сиропа для коррекции зрения.

D.A. Selivanova, F.A. Popov, M.N. Shkol'nikova, O.A Bubareva

RESULTS OF THE DEVELOPMENT OF THE SYSTEM OF AUTOMATED DESIGN OF FUNCTIONAL DRINKS

Keywords: food products, automation of the process of designing the recipe, the computer-aided design system.

The paper presents the features and results of the implementation of the automated design system for functional drinks, as one of the main uses for storing all types of data of the design process of a single integrated storage. The structure of the system is given, the example of calculation by means of the system of the recipe of tea syrup for correction of vision is presented.

Ю.С. Тарасова, В.В. Андреев, Е.А. Мартемьянова

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВИЗУАЛЬНОЙ МАССЫ ДОМИНИРУЮЩИХ ЦВЕТОВЫХ СОЧЕТАНИЙ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА КВАЗИПРОСТРАНСТВЕННОЙ МОДЕЛИ

Ключевые слова: визуальная масса, доминирующая цветовая гамма, квазипространственная модель, типы индивидов, прогнозирование, профориентация.

В статье рассматривается методика прогнозирования распределения показателей визуальной массы доминирующих цветовых сочетаний на основе анализа данных, полученных путем машинной обработки заполненных тестовых форм, имеющих вид квазипространственной модели. Модель лежит в основе методики профориентационного тестирования «Ассоциативное цветовое пространство» ©, представляющей собой универсальный инструмент для определения типа индивида, характеризующей индивидуальный стиль деятельности (ИСД), темперамент, предпочтительные сферы деятельности конкретного реципиента.

Y.S. Tarasova, V.V. Andreev, E.A. Martemyanova

THE FORECASTING DISSEMINATION OF THE VISUAL WEIGHT OF DOMINANT COLOR COMPOSITIONS ON THE BASIS OF THE ANALYSIS OF THE QUASI-SPACE MODEL

Keywords: visual mass, color scale, quasi-space model, types of individuals, forecasting, career guidance.

The article presents the forecasting technique of hydraulic resistance in the transition areas of the hydraulic curves. In the proposed method uses the results of generalization of experimental data obtained by pouring the hydraulic circuits of various degrees of complexity. The developed method allows to reduce the amount of experimental studies on pouring the newly designed circulation circuits based on the use of the obtained generalized dependences of the indicators of hydraulic resistance.

The technique of forecasting the distribution of the visual mass indexes of the dominant color combinations is analyzed on the basis of the analysis of data obtained by machining the filled test forms having the form of a quasi-spatial model. This model underlies the method of vocational guidance testing "Associative Color Space" ©, which is a universal tool for determining the type of individual characterizing an individual style of activity (SOA), temperament, preferred areas of activity of a particular recipient.

А.В. Трусов, А.А. Кольчурин

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ СИСТЕМЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ НАУЧНОГО И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ ТЭК

Ключевые слова: информационная поддержка, научно-технологическое развитие ТЭК, инновационные технологии, научно-техническая информация.

В работе рассматривается система информационной поддержки научно-технологического развития отраслей топливно-энергетического комплекса. Разработана модель информационной поддержки. Предложены направления использования системы информационной поддержки.

A.V. Trusov, A.A. Kolchurin

MODELING OF THE INFORMATION SUPPORT SYSTEM FOR THE SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL DEVELOPMENT OF THE FUEL AND ENERGY COMPLEX

Keywords: information support; scientific and technological development of the energy sector; innovative technologies; scientific and technical information.

This paper considers the system of information support of scientific and technological development of sectors of fuel and energy complex. A model of information support is developed. Areas for using the information support system are suggested.

Ш.А. Хамадеев, А.Н. Илюхин

МЕТОДИКА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ НА ОСНОВЕ ПРЕЦЕДЕНТОВ ПО УСТРАНЕНИЮ НЕСООТВЕТСТВИЙ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ПОЛИАМИДНЫХ ТРУБОК

Ключевые слова: база знаний, прецедентный подход, управление качеством, кластеризация, диаграмма Исикавы.

В статье рассмотрена проблема управления знаниями по несоответствиям в ходе реализации технологических процессов производства полипропиленовых трубок. Для решения предлагается применение прецедентного подхода. Структура прецедентов основана на иерархии диаграмме Исикавы и номенклатуре изделий. Результатами работы являются трехуровневая структура базы знаний, модель прецедента, модели процессов добавления нового прецедента и поиска прецедента в базе знаний, алгоритм кластеризации прецедентов.

Sh.A. Khamadeev, A.N. Iliukhin

METHODOLOGY OF DECISION MAKING SUPPORT ON THE BASIS OF PRECEDENTS IN THE ELIMINATION OF DISCREPANCIES IN THE PRODUCTION OF POLYAMIDE TUBES

Keywords: knowledge base, case approach, quality management, clustering, Isikava's chart.

In this work the problem of various discrepancies knowledge management is considered during realization of technological production processes of polypropylene tubes. As the decision the structure of the knowledge base on the basis of precedents is offered. The offered structure is founded on hierarchy to Isikava's chart and listed products. Results of work are the three-level structure of the knowledge base, model of a precedent, model of processes of addition of a new precedent and search of a precedent in the knowledge base, an algorithm of a clustering of precedents.

М.В. Ходько

БАЗОВЫЕ ПРИНЦИПЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ

Ключевые слова: система, управление, технологический объект, синтез.

В работе систематизированы основные принципы управления технологическими объектами, рассмотрены линейные и нелинейные системы управления. Выделены и обобщены признаки сложных объектов управления. Представлены последовательные этапы управления в сложных технологических системах, описан подход к формулированию целей системы управления, охарактеризована последовательность формирования функционалов. Произведен синтез структуры модели объекта управления, осуществлен параметрический синтез, а также описана реализация системы управления технологическими объектами.

M.V. Khodko

THE BASIC PRINCIPLES OF MANAGEMENT OF TECHNOLOGICAL OBJECTS

Keywords: system, management, technological object, synthesis.

The paper systematizes the basic principles of control of technological objects, linear and nonlinear control systems. Highlighted and summarized the characteristics of complex objects of control. The article presents the successive stages of control in complex technological systems, describes the approach to the formulation of the objectives of the control system, characterized by the sequence of formation of functionals. Produced synthesis model of the control object performed parametric synthesis, and describes the implementation of a system of control of technological objects.

И.А. Шмидт, Р.Р. Нарбеков, А.С. Монахов, К.Д. Бахтерева

СЕРВИСНАЯ ПРОГРАММА ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПОЛУНАТУРНЫХ ИСПЫТАНИЙ

Ключевые слова: полунатурные испытания САУ, машина состояний, Labview.

В статье описан подход к автоматизации испытания САУ в составе полунатурного стенда. Использование сервисной программы позволит уменьшить трудоемкость испытаний, добиться повторяемости результатов и исключить человеческий фактор. Авторами предложена программная реализация с использованием архитектуры «машины состояний».

I.A. Schmidt, R.R. Narbekov, A.S. Monakhov, K.D. Bakhtereva

SERVICE PROGRAM FOR AUTOMATION OF SEMI-FIELD TESTS

Keywords: Hil tests of the ACS, the state machine Labview.

The article describes an approach to automate the testing of the ACS in the composition of the Hil test stand. The use of the service program will reduce the complexity of the test, achieve repeatability of the results and eliminate the human factor. The authors propose a software implementation using the architecture of the «state machine».

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 "Научно-технический вестник Поволжья" 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

Н А У Ч Н О - Т Е Х Н И Ч Е С К И Й В Е С Т Н И К П О В О Л Ж Ь Я

№5 2018

Направления:
01.01.00 — ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИКА
02.00.00 — ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ
05.02.00 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ
05.11.00 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ
05.13.00 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

www.ntvp.ru

Свидетельство № ПИ № ФС77-41672 от 13 августа 2010г.

Подписано в печать 21.05.2018 Формат 60 х 84 1/8. Печать цифровая.

16,5 усл.печ.л. 19,0 уч.изд.л. Тираж 900 экз. Заказ 1363.

Учредитель: ООО "Научно-технический вестник Поволжья"
420021, Республика Татарстан, Казань,
ул. З.Султана, д.17а, оф. 19
Адрес редакции, издателя и типографии совпадают с адресом учредителя
Цена свободная.

© Научно-технический вестник Поволжья

тел.(843) 216-30-35

Отпечатано с готового оригинал-макета

ООО «Научно-технический вестник Поволжья»