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

№4 2017

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

2017

УДК 60
ББК 30-1
Н-66

Н-66 Научно-технический вестник Поволжья. №4 2017г. – Казань: Научно-технический вестник Поволжья, 2017. – 278 с.

ISSN 2079-5920

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-4

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.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

01.01.00 — ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИКА

А.Р. Абдуллаев, Э.В. Плехова КРАЕВАЯ ЗАДАЧА ДЛЯ СИНГУЛЯРНОГО ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО УРАВНЕНИЯ ВТОРОГО ПОРЯДКА 12

02.00.00 — ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Е.С. Бахвалова, А.А. Добрянская, Г.Н. Демиденко, А.В. Быков МЕТАЛЛОСОДЕРЖАЩИЕ ПОЛИМЕРСТАБИЛИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ В ЖИДКОФАЗНОМ ГИДРИРОВАНИИ АРЕНОВ 16
М.Е. Григорьев, В.Г. Матвеева, Е.В. Антонов, А.Ю. Гребенюк КИНЕТИКА КАТАЛИТИЧЕСКОГО ГИДРИРОВАНИЯ D-КСИЛОЗЫ ДО D-КСИЛИТА 19
Г.Н. Демиденко, Л.Ж. Никошвили, А.В. Быков СТАБИЛЬНОСТЬ ПОЛИМЕРСТАБИЛИЗИРОВАННОЙ РУТЕНИЙ СОДЕРЖАЩЕЙ КАТАЛИТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ЖИДКОФАЗНОГО СИНТЕЗА N-МЕТИЛАНИЛИНА 22
М.Е. Маркова, А.А. Степачёва, А.В. Гавриленко, М.Г. Сульман, Э.М. Сульман СИНТЕЗ ФИШЕРА-ТРОПША В ПРИСУТСТВИИ КАТАЛИЗАТОРОВ, СИНТЕЗИРОВАННЫХ В СУБКРИТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ 26
В.П. Молчанов, В.Ю. Долуда, М.Е. Григорьев, Э.М. Сульман, Г.Ю. Рабинович ИССЛЕДОВАНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ВЫХОД САХАРОВ В ПРОДУКТАХ БИОКОНВЕРСИИ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ И ОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ 29
В.П. Молчанов, Н.В. Фомичева, Е.А. Прутенская, Э.М. Сульман, Г.Ю. Рабинович АНАЛИЗ КИНЕТИКИ БИОКАТАЛИТИЧЕСКОГО СИНТЕЗА АМИНОКИСЛОТ В ПРОЦЕССЕ БИОКОНВЕРСИИ ПРИРОДНОГО ОРГАНИЧЕСКОГО СЫРЬЯ 33
Н.А. Немыгина, Е.В. Семенова, Л.Ж. Никошвили, М.Г. Сульман, Э.М. Сульман, L. Kiwi-Minsker РЕАКЦИЯ КРОСС-СОЧЕТАНИЯ СУЗУКИ В ПРИСУТСТВИИ МОНО- И БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ Pd- И Au-СОДЕРЖАЩИХ КАТАЛИЗАТОРОВ НА ОСНОВЕ СВЕРХСШИТОГО ПОЛИСТИРОЛА 37
Е.В. Пашкова, А.Н. Шипуля, Е.В. Волосова, Е.В. Белик, К.С. Эльбекьян ПЕРСПЕКТИВЫ ПОЛУЧЕНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОРБЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ОРГАНОКРЕМНЕЗЕМНОЙ ПРИРОДЫ В БИОТЕХНОЛОГИИ 41
А.А. Савченко КОНЦЕНТРАЦИЯ НАПРЯЖЕНИЙ В ВЯЗКОУПРУГОЙ ПОЛИМЕРНОЙ ПЛАСТИНКЕ С ОТВЕРСТИЕМ 44

05.02.00 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

Аббаварам Ревант Редди, В.Г. Нестеренко ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТРУБЧАТЫХ ВОЗДУХО - ВОЗДУШНЫХ ТЕПЛООБМЕННИКОВ, УСТАНАВЛИВАЕМЫХ В СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ И ПЕРСПЕКТИВНЫХ ТУРБИН ГТД 48
Н.Д. Ахметов, В.Н. Друлис, Т.В. Рзаева, А.Г. Коробова, Л.Н. Валиахметова РОЛЬ НАЧЕРТАТЕЛЬНОЙ ГЕОМЕТРИИ В ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПОДГОТОВКЕ СПЕЦИАЛИСТА 51
Ле Тиен Зыонг, В.Г. Нестеренко МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОФИЛЬНОЙ ЧАСТИ БАНДАЖИРОВАННЫХ ЛОПАТОК РОТОРА ТУРБИНЫ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ ГТД 54
Н.Г. Фетисова, А.П. Буйносов ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛ ЛИНЕЙНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ПОЕЗДА 58

И.Н. Фролова, И.О. Пантелеев, С.К. Сахаровский, А.А. Сарбаев К ВОПРОСУ АВТОМАТИЗАЦИИ ВЫБОРА УГЛОВ В ПЛАНЕ РЕЖУЩЕГО КЛИНА В БАЗЕ ДАННЫХ СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХПРОЦЕССОВ 62

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

А.В. Галин, О.Г. Морозов, П.В. Гаврилов, А.Ж. Сахабутдинов, И.А. Макаров, А.А. Тяжелова ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЕ И ТЕРАГЕРЦОВЫЕ БРЭГГОВСКИЕ РЕШЕТКИ ДЛЯ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА БУМАГИ 65
В.О. Ефимов, А.Н. Пикулев, Н.В. Дорогов, А.А. Тяжелова, Л.М. Сарварова, В.Ю. Колесников, А.М. Николаев, П.М. Николаев, Ю.М. Николаев МЕТОДЫ КОМПЕНСАЦИИ ВЛИЯНИЯ АТМОСФЕРНОЙ ТУРБУЛЕНТНОСТИ НА ТОЧНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ УГЛОВЫХ КООРДИНАТ В ЛАЗЕРНЫХ ЛОКАТОРАХ СЛЕЖЕНИЯ 69
К.А. Кузьмин, И.В. Нелин, В.А Скуратов МЕХАНИЗМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ФИЛЬТРАЦИИ РАДИОСИГНАЛОВ 72
А.Р. Латфуллин, Р.Ш. Яруллов, Н.В. Жиляков, Э.Ф. Хазиев, Д.В. Самигуллин РЕГИСТРАЦИЯ КАЛЬЦИЕВОГО ТРАНЗИЕНТА В ПЕРИФЕРИЧЕСКИХ СИНАПСАХ МЫШИ, ЗАГРУЖЕННЫХ ВЫСОКО- И НИЗКОАФФИННЫМИ КАЛЬЦИЕВЫМИ КРАСИТЕЛЯМИ, ПРИ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ СТИМУЛЯЦИИ ДВИГАТЕЛЬНОГО НЕРВА 75
Е.В. Субботин, С.В. Ершов, А.Д. Слободчиков РЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ТЕРМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МИНЕРАЛЬНО-СИНТЕТИЧЕСКИХ МАСЕЛ 78
Е.В. Субботин, С.В. Ершов, Д.И. Широков ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ГИДРОФОБНЫХ ГЕЛЕЙ С ПОЛИМЕРНЫМИ ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННЫМИ МАТЕРИАЛАМИ 82
А.Е. Терлыч, А.С. Поздеева ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ТОКОПРОВОДЯЩИХ ЖИЛ КАБЕЛЕЙ НЕПОСРЕДСРЕДСТВЕННО НА ЛИНИИ ПРОИЗВОДСТВА 86

05.13.00 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

И.А. Акимов, В.Н. Абузяров НЕСТАЦИОНАРНАЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ В СЛОЯХ С НЕИДЕАЛЬНЫМ КОНТАКТОМ 90
Н.В. Андриевская, Н.В. Павлов АНАЛИЗ ВЗАИМНОГО ВЛИЯНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ 93
А.А. Бачурин, Н.В. Павлов, А.В. Папулов СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ МОЩНОСТЬЮ НАРУЖНЫХ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВЕЛИЧИНЫ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКА 96
Ф.Н. Баянов, Д.А. Даденков, О.П. Суханов РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ НАПОРНОГО ЯЩИКА УЧЕБНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОГО ПРОИЗВОДСТВА 99
С.В. Бочкарев, М.И. Мотырев АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ РАЗРАБОТКИ РУКОВОДСТВА ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ В ИНТЕГРИРОВАННОЙ СРЕДЕ TEAMCENTER & CORTONA3D RAPIDAUTHORS 102
А.П. Буйносов ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФОРМЫ ПОВЕРХНОСТИ КАТАНИЯ БАНДАЖЕЙ НА КОЭФФИЦИЕНТ СЦЕПЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОВОЗА 105

Н.И. Войтехов, А.Н. Лыков АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ ДАВЛЕНИЯ НА ПЕРВОЙ СТУПЕНИ ТУРБОКОМПРЕССОРА ПРОПАНОВОЙ ХОЛОДИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ 108
Н.И. Войтехов, Д.А. Чернышев, А.Н. Лыков ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СТРУКТУРНЫХ ПАРАМЕТРОВ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ И КОЛИЧЕСТВА ОБУЧАЮЩЕЙ ВЫБОРКИ НА ВЕЛИЧИНУ СРЕДНЕКВАДРАТИЧЕСКОЙ ОШИБКИ ПОЛУЧЕННОГО РЕЗУЛЬТАТА. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДБОРУ ПАРАМЕТРОВ И ОБУЧЕНИЮ СЕТИ 112
А.В. Волков, М.А. Бобров МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ФОТОЭЛЕКТРИЧСКОЙ ЭНЕРГИИ НА ОСНОВЕ GaN–ТРАНЗИСТОРА И КОМПЛЕКСНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ТРАНЗИСТОРОВ ИЗ НИТРИДА ГАЛЛИЯ 115
Д.А. Даденков, Ф.Н. Баянов АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ЭКСПРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА БАЗЕ УЧЕБНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОГО ПРОИЗВОДСТВА 118
С.Н. Дербенева, А.А. Бачурин АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПОТЕРЬ В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ 122
С.Н. Каменских, А.А. Широков АНАЛИЗ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОТОКОВ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ 125
А.А. Клюкин, С.Н. Каменских, А.А. Широков ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОТОКОВ 128
Т.А. Кузнецова, В.Г. Августинович ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ОТКАЗОВ ДАТЧИКОВ КАНАЛОВ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ САУ ГТД 131
А.В. Кухарчук, А.В. Ромодин ВХОДНЫЕ ВОЗМУЩЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЕСТЕСТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ ДЛЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ВНУТРЕННИМ ОСВЕЩЕНИЕМ В УСЛОВИЯХ Г. ПЕРМЬ 134
Д.Ю. Лейзгольд, А.В. Папулов, А.В. Ромодин ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ГЕНЕРИРУЮЩИХ МОЩНОСТЕЙ В СЕТЯХ С ДВУХСТОРОННИМ ПИТАНИЕМ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ ПОИСКА КРАТЧАЙШЕГО ПУТИ ВО ВЗВЕШЕННОМ ГРАФЕ 137
А.Н. Лыков, А.А. Шергина РАЗРАБОТКА АЛЬТЕРНАТИВНОЙ АРХИТЕКТУРЫ SCADA-СИСТЕМЫ ДЛЯ НЕБОЛЬШИХ ПРЕДПРИЯТИЙ 140
М.И. Мелюхина, А.А. Широков ИССЛЕДОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОТОКОВ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ 143
В.А. Меньшенин, А.Н. Лыков ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМЫ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА 146
А.Ю. Москоков РАСЧЕТ ФУНКЦИИ ДВИЖЕНИЯ СЕРВОПРИВОДА ДЛЯ РАСПРЕДЕЛЯЮЩЕГО МЕХАНИЗМА В КОНВЕЙЕРНЫХ ЛИНИЯХ 149
И.С. Надеждин МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РАЗРЯДОВ МЕЖДУ МЕТАЛЛИЧЕСКИМИ ШАРИКАМИ В ВОДНОМ РАСТВОРЕ 153
И.А. Ощепкова, О.А. Билоус СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ МАСЛООХЛАЖДЕНИЯ В ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩЕМ АГРЕГАТЕ 156
А.В. Папулов, А.А. Бачурин МЕТОДИКА ВЫБОРА СПОСОБА МОДЕРНИЗАЦИИ СЕТЕЙ НАРУЖНОГО ОСВЕЩЕНИЯ 159
Р.Н. Петухов, Н.И. Хорошев КОНЦЕПЦИЯ ЕДИНОГО ИНФОРМАЦИОННОГО ПРОСТРАНСТВА ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО КЛАСТЕРА 162
Р.А. Погораздов, Н.И Хорошев МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РЕГУЛИРОВАНИЯ УРОВНЯ ЖИДКОСТИ В РЕЗЕРВУАРЕ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОГРАММИРУЕМОГО ЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЛЕРА И ПРОГРАММНОЙ СРЕДЫ MATLAB SIMULINK 165

Ю.Г. Полкунов, Е.В. Спиридонова МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАГРУЖЕННОСТИ КОНИЧЕСКИХ ДИСКОВЫХ ИНСТРУМЕНТОВ 168
П.А. Пуеров, А.Н. Лыков КОНТРОЛЛЕРЫ «КОНТАР» ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ 172
А.А. Путилова, Т.В. Костыгова МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЭМАЛИРОВАНИЯ И АНАЛИЗ РАБОТЫ ЭМАЛЬАГРЕГАТА MATE SV 70-224/2 ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ В ЭМАЛЬПЕЧИ 176
А.В. Ромодин, Д.Ю. Лейзгольд, М.С. Борисов БЕЗЫТЕРАЦИОННЫЙ АЛГОРИТМ РАСЧЕТА РЕЖИМА ЭЭС ПРИ ЗАДАННОЙ НАГРУЗКЕ И НАПРЯЖЕНИИ ПИТАЮЩЕГО УЗЛА 179
Е.П. Сеногноева, А.А. Бачурин РАСЧЕТ И ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ УЧАСТКА СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ НЕФТЕДОБЫВАЮЩЕЙ ОТРАСЛИ 182
Д.В. Соколов МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЫПАРКИ УРАН-ПЛУТОНИЕВОЙ ЛИГАТУРЫ 185
И.А. Спирин, Н.И. Хорошев ОПРЕДЕЛЕНИЕ КЛАССА ОБЪЕКТА НА ИЗОБРАЖЕНИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ EYE-TRACKING И МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ 189
Э.Д. Сурсяков, А.А. Бачурин ПРИМЕНЕНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ АНАЛИЗА ДАННЫХ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОНАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ 192
А.В. Татосов, А.И. Вараввa МОДЕЛЬ ПОДАЧИ РЕАГИРУЮЩЕЙ БИНАРНОЙ СМЕСИ В ПЛАСТ 195
Н.М. Труфанова, И.Я. Дятлов, В.В. Черняев ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВУЛКАНИЗАЦИИ ЧИСЛЕННЫМ МЕТОДОМ 201
Н.М. Труфанова, А.В. Козьминых, Н.А. Костарев ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЕЛИЧИНЫ ДЕБИТА И ТЕМПЕРАТУРЫ ЗАБОЯ НА ТЕМПЕРАТУРНОЕ ПОЛЕ СКВАЖИНЫ 205
Н.М. Труфанова, В.Э. Салаватов ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЙ ОБОГРЕВА НА ТЕМПЕРАТУРНОЕ ПОЛЕ В ЖИЛОЙ КОМНАТЕ 208
Ф.П. Фадеев, И.А. Шмидт, К.А. Мехоношин АВТОМАТИЗАЦИЯ БИЗНЕС-ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ И ОТПРАВКИ ЗАЯВКИ НА ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ИЗМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ 212
М.К. Хасанов МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ ГАЗОГИДРАТА СЕРОВОДОРОДА ПРИ ЕГО ИНЖЕКЦИИ В ПЛАСТ, НАСЫЩЕННЫЙ НЕФТЬЮ И ВОДОЙ 215
М.А. Чалов, А.Н. Лыков ИНТЕРФЕЙСЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАБОЧЕГО МЕСТА НА РАЗЛИЧНЫХ УСТРОЙСТВАХ 219
М.А. Чалов, И.А. Шмидт ХРАНЕНИЕ ДАННЫХ СТЕНДОВЫХ ИСПЫТАНИЙ 222
М.В. Чирков УПРАВЛЕНИЕ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОТИВОВИРУСНОГО ИММУННОГО ОТВЕТА 226
Е.В. Шаврина ПРИМЕНЕНИЕ МОДИФИКАЦИИ МОДЕЛИ ТУРБУЛЕНТНОСТИ K-E ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ СВЕРХЗВУКОВЫХ СТРУЙ 229
В.А. Шаманов МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ДОЗИРОВАНИЯ КОМПОНЕНТОВ АВТОКЛАВНОГО ГАЗОБЕТОНА 232
В.Н. Шведенко, О.В. Щекочихин, Т.М. Ровинская МЕТОДИКА РАЗРАБОТКИ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ, ОБЛАДАЮЩЕЙ СВОЙСТВОМ ПОВЕДЕНИЯ, НА ПРИМЕРЕ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ЗАКУПОЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ 236
Д.В. Шиляев, О.А. Билоус ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ВЕНТИЛЯЦИЕЙ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЕМ НА БАЗЕ ПРОГРАММИРУЕМОГО ЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЛЕРА И РЕЛЕЙНОЙ ЛОГИКИ 240

И.А. Шмидт, К.А. Механошин, А.С. Семушева АВТОМАТИЗАЦИЯ БИЗНЕС-ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ И ОТПРАВКИ ЗАЯВКИ НА ИЗМЕНЕНИЕ КОНСТРУКТОРСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ 244
И.А. Шмидт, А.А Шергина ИСПЫТАТЕЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО. УРОВНИ ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА. РЕАЛИЗАЦИЯ ТРЕТЬЕГО УРОВНЯ 248
А.Г. Щербинин, А.С. Мансуров, А.А. Порошин ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКЦИИ КАБЕЛЬНОГО ЭКРАНА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭКРАНИРОВАНИЯ 252
А.С. Якутов, К.А. Борковец, А.В. Ромодин ПРИМЕНЕНИЕ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО КОНТРОЛЛЕРА В СИСТЕМЕ АВТОМАТИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ 255
А.С. Якутов, А.В. Ромодин ВЫБОР СИСТЕМЫ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ СРЕДНЕГО НАПРЯЖЕНИЯ 258

АННОТАЦИИ 261

THE RELEASE MAINTENANCE

01.01.00 — PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES — MATHEMATICS

A.R. Abdullaev, E.V. Plekhov A BOUNDARY PROBLEM FOR A SINGULAR SECOND-ORDER DIFFERENTIAL EQUATION 12

02.00.00 — CHEMICAL SCIENCES

E.S. Bakhvalova, A.A. Dobryanskaya, G.N. Demidenko, A.V. Bykov METAL-CONTAINING POLYMER-STABILIZED SYSTEMS IN LIQUID-PHASE HYDROGENATION OF ARENES 16
M.E. Grigoriev, V.G. Matveeva, E.V. Antonov, A.Y. Grebenyuk D-XYLOSE TO D-XYLITOLCATALYTIC HYDROGENATIONKINETICS 19
G.N. Demidenko, L.Zh. Nikosvili, A.V. Bykov STABILITY OF THE POLYMER-STABILIZED RUTHENIUM-CONTAINING CATALYTIC SYSTEM FOR THE LIQUID-PHASE SYNTHESIS OF N-METHYLANILINE 22
M.E. Markova, A.A. Stepacheva, A.V. Gavrilenko, M.G. Sulman, E.M. Sulman FISCHER-TROPSCH SYNTHESIS IN THE PRESENCE OF THE CATALYSTS SYNTHESIZED IN SUBCRITICAL CONDITIONS 26
V.P. Molchanov, V.Yu. Doluda, M.E. Grigoriev, E.M. Sulman, G.Yu. Rabinovich STUDY OF ULTRASONIC TREATMENT ON THE YIELD OF SUGARS IN THE PRODUCTS OF BIOCONVERSION OF VEGETATIVE RAW MATERIALS AND ORGANIC WASTE 29
V.P. Molchanov, N.V. Fomicheva, E.A. Prutenskaya, E.M. Sulman, G.Yu. Rabinovich KINETIC ANALYSIS OF AMINO ACIDS BIOCATALYTIC SYNTHESIS IN THE COURSE OF BIOCONVERSION OF ORGANIC RAW MATERIALS 33
N.A. Nemygina, E.V. Semenova, L.Zh. Nikoshvili, M.G. Sulman, E.M. Sulman, L. Kiwi-Minsker SUZUKI CROSS-COUPLING REACTION IN THE PRESENCE OF MONO- AND BIMETALLIC PD- AND AU-CONTAINING CATALYSTS BASED ON HYPERCROSSLINKED POLYSTYRENE 37
E.V. Pashkova, E.V. Volosova, A.N. Shipulya, E.V. Belik, K.S. Elbekyan PROSPECTS OF RECEIVING AND USING SORPTION MATERIALS OF ORGANO-CRUISE NATURE IN BIOTECHNOLOGY 41
A.A. Savchenko STRESS CONCENTRATION IN A VISCOELASTIC POLYMER PLATE WITH HOLE 44

05.02.00 — TECHNICAL SCIENCES — MECHANICAL ENGINEERING AND ENGINEERING SCIENCE

Abbavaram Revanth Reddy, V.G. Nesterenko BASIC DESIGN PRINCIPLES AND METHODS TO INCREASE EFFICIENCY OF TUBULAR AIR - THE AIR HEAT EXCHANGERS INSTALLED IN THE COOLING SYSTEMS OF MODERN AND FUTURE TURBINES OF GAS TURBINE ENGINES 48
N.D. Akhmetov, V.N. Drulis, T.V. Rzayeva, A.G. Korobova, L.N. Valiakhmetova THE ROLE OF DESCRIPTIVE GEOMETRY TRAINING SPECIALIST 51
Le Tien Duong, V.G. Nesterenko DESIGN METHODOLOGY OF THE PROFILED PART OF THE SHROUDED BLADES OF THE HIGH-PRESSURE TURBINE ROTOR OF A GAS TURBINE ENGINE 54
N.G. Fetisova, A.P. Buinosov DETERMINATION OF FORCES OF THE LINEAR ASYNCHRONOUS ENGINE OF THE HIGH-SPEED TRAIN 58
I.N. Frolova, I.O. Panteleev, S.K. Sakharovsky, A.A. Sarbaev TO THE PROBLEM OF AUTOMATING THE CHOICE OF ANGLES IN TERMS OF A CUTTING WEDGE IN THE DATABASE OF COMPUTER-AIDED DESIGN SYSTEMS FOR TECHNICAL PROCESSES 62

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

A.V. Galin, O.G. Morozov, P.V. Gavrilov, A.J. Sakhabutdinov, I.A. Makarov, A.A. Tyazhelova FIBER-OPTICAL AND TERAHERTZ BRAGG GRATINGS FOR PAPER QUALITY CONTROL SYSTEMS 65
V.O. Efimov, A.N. Pikulev, N.V. Dorogov, A.A. Tyazhelova, L.M. Sarvarova, V.Yu. Kolesnikov, A.M. Nikolaev, P.M. Nikolaev, Yu.M. Nikolaev METHODS OF ATMOSPHERE TURBULENCE INFLUENCE COMPENSATION ON THE ACCURACY OF ANGULAR COORDINATES MEASURING FOR TRACKING LADAR 69
K.A. Kuzmin, I.V. Nelin, V.A Skyratov MECHANISMS USING NEURAL NETWORK TECHNOLOGY FOR FILTERING RADIO SIGNALS 72
A.R. Latfullin, R.Sh. Yarullov, N.V.Zhilyakov, E.F. Khaziev, D.V. Samigullin REGISTRATION OF CALCIUM TRANSIENT IN PERIPHERAL SYNAPSES OF MICE LOADED WITH HIGH- AND LOW-AFFINITY CALCIUM DYES WITH HIGH-FREQUENCY STIMULATION OF THE MOTOR NERVE 75
E.V. Subbotin, S.V. Ershov, A.D. Slobodchikov RHEOLOGICAL RESEARCH AND THERMAL ANALYSIS OF MINERAL-SYNTHETIC OILS 78
E.V. Subbotin, S.V. Ershov, D.I. Shirokov EXPERIMENTAL STUDIES OF THE INTERACTION PROCESSES OF HYDROPHOBIC GELS WITH POLYMERIC ELECTRICAL-INSULATING MATERIALS 82
A.E. Terlych, A.S. Pozdeeva METHOD FOR MEASURING THE RESISTANCE OF CONDUCTORS CABLES DIRECTLY ON THE PRODUCTION LINE 86

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

I.A. Akimov, V.N. Abuzyarov THE NONSTATIONARY HEAT CONDUCTIVITY IN THE LAYERS WITH IMPERFECT CONTACT 90
N.V. Andrievskaya, N.V. Pavlov ANALYSIS OF POWER QUALITY INDICATORS 93
A.A. Bachurin, N.V. Pavlov, A.V. Papulov OUTDOOR LIGHTING CONTROL SYSTEM USING THE TRAFFIC FLOW VALUE 96
D.A. Dadenkov, F.N. Bayanov, O.P. Cuhanov DEVELOPMENT AND RESEARCH OF THE AUTOMATED CONTROL SYSTEM OF THE PRESSURE BOX OF EDUCATIONAL EXPERIMENTAL EQUIPMENT OF PULP AND PAPER INDUSTRY 99
S.V. Bochkarev, M.I. Motyrev AUTOMATED CONTROL SYSTEM OF LIFE CYCLE OF OPERATING INSTRUCTION DEVELOPMENT IN THE INTEGRATED INFORMATION ENVIRONMENT TEAMCENTER & CORTONA3D RAPIDAUTHORS 102
A.P. Buinosov THEORETICAL JUSTIFICATION OF INFLUENCE OF THE FORM OF THE SURFACE OF DRIVING OF BANDAGES ON COEFFICIENT OF COUPLING OF THE ELECTRIC LOCOMOTIVE 105
N.I. Voitekhov, A.N. Lykov AUTOMATED CONTROL SYSTEM OF REGULATION OF PRESSURE AT THE FIRST STEP OF THE TURBOCOMPRESSOR OF THE PROPANE REFRIGERATION UNIT 108
N.I. Voitekhov, D.A. Chernyshev, A.N. Lykov THE RESEARCH OF THE INFLUENCE OF THE STRUCTURAL PARAMETERS OF THE ARTIFICIAL NEURAL NETWORK AND THE NUMBER OF TRAINING SAMPLES ON THE AVERAGE OF THE AVERAGE-SQUARE ERROR OF THE OBTAINED RESULT. THE RECOMMENDATIONS ON SELECTING PARAMETERS AND TRAINING OF THE NETWORK 112

A.V. Volkov, M.A. Bobrov MATHEMATICAL SIMULATION OF PHOTOELECTRIC ENERGY CONVERTER BASED ON GAN-TRANSISTOR AND COMPLEX STUDY OF TRANSISTORS AT NITRIDE OF GALLIUM 115
D.A. Dadenkov, F.N. Bayanov AUTOMATED CONTROL SYSTEM FOR EXPERIMENTAL RESEARCHES ON THE BASIS OF EDUCATIONAL-EXPERIMENTAL EQUIPMENT OF PULP-AND-PAPER INDUSTRY 118
S.N. Derbeneva, A.A. Bachurin AUTOMATED METHOD OF CALCULATION OF LOSSES IN THE POWER SYSTEM 122
S.N. Kamenskikh, A.A. Shirokov ANALISYS OF INFORMATION FLOWS OF INDUSTRIAL ENTERPRISE 125
A.A. Klyukin, S.N. Kamenskikh, A.A. Shirokov JUSTIFICATION OF THE CHOICE OF AUTOMATED INFORMATION SYSTEMA BASED ON ANALYSIS OF INFORMATION FLOWS 128
T.A. Kuznetsova, V.G. Augustinovich THE NEURAL NETWORK APPLICATION FOR FAULT DIAGNOSTICS OF FEEDBACK CHANNELS' SENSOR IN AUTOMATIC CONTROL SYSTEMS OF MODERN AIRCRAFT GAS-TURBINE ENGINES 131
A.V. Kukharchuk, A.V. Romodin CHANGES INDEXES OF NATURAL LIGHTING FOR THE CONTROL SYSTEM OF INTERNAL ILLUMINATION IN CONDITIONS CI. PERM 134
D.Y. Leyzgold, A.V. Papulov, A.V. Romodin DETERMINATION OF THE OPTIMAL DISTRIBUTION OF GENERATING POWER IN THE ELECTRIC POWER NETWORKS WITH BILATERAL SUPPLY BASED ON THE METHODS OF SEARCHING FOR THE SHORTEST WAY IN THE WEIGHTED GRAPH 137
A.N. Lykov, A.A. Shergina DEVELOPMENT OF ALTERNATIVE ARCHITECTURE OF SCADA SYSTEM FOR SMALL COMPANIES 140
M.I. Melyuhina, A.A. Shirokov INVESTIGATION OF INFORMATION FLOWS IN ELECTRIC POWER ENGINE WITH THE PURPOSE OF ENERGY EFFICIENCY 143
V.A. Menshenin, A.N. Lykov AIR CONDITIONING SYSTEM DEVELOPEMENT 146
A.Yu. Moskokov CALCULATION OF THE SERVO MOTION FUNCTION FOR THE DISTRIBUTING MECHANISM IN CONVEYOR LINES 149
I.S. Nadezhdin MODELING THE DISTRIBUTION OF ELECTRIC DISCHARGE AMONG METAL BALLS IN AQUEOUS SOLUTIONS 153
I.A. Oshchepkova, O.A. Bilous AUTOMATIC CONTROL SYSTEM OF OIL COOLING PROCESS IN GAS-COMPRESSOR UNIT 156
A.V. Papulov, A.A. Bachurin ANALYSIS OF EVALUATION OF THE EXCELLENCE OF THE MODERNIZATION OF OUTDOOR LIGHTING NETWORKS 159
R.N. Petukhov, N.I. Horoshev THE CONCEPT OF A SINGLE INFORMATION SPACE OF TERRITORIAL CLUSTER 162
R.A. Pogorazdov, N.I. Khoroshev MODELING THE PROCESS OF FILLING LIQUID INTO THE TANK AND MAINTAINING ITS LEVEL USING A S7-300 PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER 165
Y.G. Polkunov, E.V. Spiridonova MATHEMATICAL MODELLING OF LOADING CONIC DISK TOOLS 168
P.A. Puerov, A.N. Lykov CONTROLLERS «KONTAR» FOR AUTOMATION OF TECHNOLOGICAL PROCESSES 172
A.A. Putilova, T.V. Kostygova MODELING OF THE ENAMELING PROCESS AND ANALYSIS OF THE MATE SV 70-224 / 2 ENAMELAGREGATE WORKING WITH THE CHANGING OF THE TECHNOLOGICAL CHARACTERISTIC OF THE ENAMELLING-OVEN 176
A.V. Romodin, D.Yu. Leyzgold, M.S. Borisov NONITERATIVE POWER GRID CALCULATION EPS WITH THE ASSIGNED LOAD AND THE VOLTAGE OF THE SUPLY UNIT 179

E.P. Senognoeva, A.A. Bachurin CALCULATION AND ESTIMATION OF THE RELIABILITY OF THE OF THE POWER SUPPLY SYSTEM CIRCUIT OF THE OIL PRODUCTION INDUSTRY 182
D.V. Sokolov MODELING OF THE URANIUM-PLUTONIUM LIATURE EVAPORATION PROCESS 185
I.A. Spirin, N.I. Horoshev OBJECT CLASS DETECTION IN IMAGES USING EYE-TRACKING TECHNOLOGY AND MACHINE LEARNING APPROACHES 189
E.D. Sursyakov, A.A. Bachurin STATISTICAL METHODS APPLICATION OF DATA ANALYSIS FOR OPTIMIZATION OF ELECTRIC PUMPS OPERATING MODES 192
A.V. Tatosov, A.I. Varavva MODEL OF FEEDING BINARY MIXTURE IN PLAST 195
N.M. Trufanova, I.Y. Djatlov, V.V. Chernyaev VULCANIZATION PROCESS NUMERICAL RESEARCH 201
N.M. Trufanova, A.V. Kozminykh, N.A. Kostarev A STUDY OF THE INFLUENCE OF THE FLOW RATE AND DOWNHOLE TEMPERATURE ON THE TEMPERATURE ALONG THE WELL 205
N.M. Trufanova ,V.E. Salavatov INFLUENCE OF VARIOUS HEATING CONDITIONS ON THE TEMPERATURE FIELD IN THE RESIDENTIAL ROOM 208
F.P. Fadeev, I.A. Shmidt, K.A. Mehonoshin AUTOMATION OF BUINESS PROCESS FOR FORMATION AND SENDING OF APPLICATION FOR DESIGNING AND CHANGING THE TECHNOLOGICAL EQUIPMENT 212
M.K. Khasanov MATHEMATICAL MODELING OF THE FORMATION OF HYDROGEN SULFIDE HYDRATE WITH ITS INJECTION INTO A LAYER SATURATED WITH OIL AND WATER 215
M.A. Chalov, A.N. Lykov HMI ELEMENTS ON DIFFERENT DEVICES 219
M.A. Chalov, I.A. Shmidt STORAGE OF DATA OF THE TEST STANDS 222
M.V. Chirkov CONTROL WITH UNCERTAINTY IN THE MATHEMATICAL MODEL OF ANTIVIRAL IMMUNE RESPONSE 226
E.V. Shavrina APPLICATION OF THE K-E TURBULENCE MODEL MODIFICATION FOR MODELING SUPERSONIC JETS 229
V.A. Shamanov MATHEMATICAL MODEL OF METERING CONTROL OF AAC's COMPONENTS 232
V.N. Shvedenko, O.V. Schekochikhin, T.M. Rovinskaya ONTOLOGY CONCEPTS OF INFORMATION SYSTEM BEHAVIOR 236
D.V. Shilyaev, O.A. Bilous DEVELOPMENT OF AUTOMATED CONTROL SYSTEM FOR VENTILATION AND AIR CONDITIONING SYSTEM BASED ON PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER AND RELAY LOGIC 240
I.A. Shmidt, K.A. Mehonoshin, A.S. Semusheva AUTOMATION OF BUSINESS PROCESS OF FORMATION AND SENDING OF APPLICATION FOR CHANGE OF DESIGN DOCUMENTATION 244
I.A. Shmidt, A.A. Shergina PRODUCTION TEST. LEVELS OF PRODUCTION TEST. IMPLEMENTATION OF THE THIRD LEVEL 248
A.G. Shcherbinin, A.S. Mansurov, A.A. Poroshin INVESTIGATION AS THE CONSTRUCTION OF THE CABLE SHIELD INFLUENCE THE SHIEKDING EFFICIENCY 252
A.S. Yakutov, K.A. Borkovets A.V. Romodin APPLICATION OF MULTIFUNCTIONAL CONTROLLER IN THE AUTOMATION SYSTEM OF ELECTRICAL SUPPLY 255
A.S. Yakutov, A.V. Romodin SELECTION OF THE SYSTEM OF IMPROVING THE RELIABILITY OF THE DISTRIBUTION NETWORK OF AVERAGE VOLTAGE 258

ABSTRACTS 261

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИКА (01.01.00)

01.01.02

А.Р. Абдуллаев, Э.В. Плехова

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Факультет Прикладной математики и механики, Кафедра «Высшая математика»,
Пермь, h.m@pstu.ru

КРАЕВАЯ ЗАДАЧА ДЛЯ СИНГУЛЯРНОГО ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО УРАВНЕНИЯ ВТОРОГО ПОРЯДКА

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-4-12-15

Рассматривается краевая задача

$$\begin{cases} x''(t)+\frac{m}{t^2}x(t)=f\left(t,x(t),x'(t)\right), \quad t\in[0,T], \\ x(0)=0, x'(0)=0, \\ lx=\int\limits_0^T \varphi(t)x''(t)\,dt=\alpha. \end{cases}$$

Для $m\in\left(-\infty;-1-\frac{1}{\sqrt{2}}\right)$, *в предположении* $\int\limits_0^1 \varphi(t)t^{\delta}dt\neq 0$, $\delta=-\frac{3}{2}+\frac{1}{2}\sqrt{1-4m}$ *сформулированы достаточные условия на функцию* f, *обеспечивающие существование единственного решения рассматриваемой задачи.*

Ключевые слова: *сингулярное дифференциальное уравнение, краевая задача, существование и единственность решения.*

Рассмотрим сингулярное дифференциальное уравнение

$$x''(t)+\frac{m}{t^2}x(t)=f\left(t,x(t),x'(t)\right), \quad t\in[0,T], \tag{1}$$

где $x:[0,T]\to R$, $f:[0,T]\times R^2\to R$, $m\in R$. Уравнение вида (1) возникает во многих математических моделях, в частности, в теории элементарных частиц.

В предлагаемой статье получены достаточные условия однозначной разрешимости задачи для уравнения (1) с краевым условием вида

$$l(x)=\alpha, \tag{2}$$

где l – линейный функционал.

1. Пусть $L_2=L_2[0,T]$ – гильбертово пространство суммируемых с квадратом по Лебегу функций $x:[0;T]\to R$, со скалярным произведением, определенным равенством $(x,y)=\int\limits_0^T x(t)\,y(t)\,dt$. Решение задачи (1) будем искать в пространстве абсолютно непрерывных вместе с первой производной функций W_2^0, имеющих суммируемую с квадратом вторую производную и удовлетворяющих дополнительным условиям: $x(0)=0$, $x'(0)=0$. Норму на пространстве W_2^0 определим равенством $\|x\|_{W_2^0}=\|x''\|_{L_2}=\left(\int\limits_0^T|x''(t)|^2\,dt\right)^{\frac{1}{2}}$.

Отметим, что выбор нормы на пространстве W_2^0 делает пространства W_2^0 и L_2 метрически изоморфными. Этот метрический изоморфизм $J:W_2^0\to L_2$, определим равенством $Jx=x''$.

Значительную роль в данной работе играет коэффициент сюръективности линейного ограниченного оператора. Напомним [1], что для линейного ограниченного оператора

$L: X \to Y$, где X, Y – банаховы пространства, коэффициент сюръективности $q(L)$, определяется равенством

$$q(L) = \inf_{\omega \neq 0} \frac{\|L^* \omega\|}{\|\omega\|},$$

где $L^*: Y^* \to X^*$ – сопряженный оператор.

Положительность $q(L)$ обеспечивает сюръективность оператора L [1].

Рассмотрим операторы $A: W_2^0 \to L_2$, $B: L_2 \to L_2$

$$Ax = x''(t) + \frac{m}{t^2} x(t), \ (By)(t) = y(t) + \frac{m}{t^2} \int_0^T (t-s) y(s)\, ds.$$

Отметим, что оператор $B: L_2 \to L_2$ является главной частью оператора A [2], кроме того, в силу метрического изоморфизма пространств W_2^0 и L_2, справедливо равенство $q(A) = q(B)$. Это позволяет воспользоваться следующим утверждением, полученым в работе [3]. Это утверждение приведем для интересующего нас в работе случая.

Лемма 1. Если $m \in \left(-\infty; -1 - \frac{1}{\sqrt{2}}\right)$, то

1) оператор $B: L_2 \to L_2$ сюръективен, при этом

$$q(B) \geq \begin{cases} 1, & m \in (-\infty, -2], \\ \sqrt{2m^2 + 4m + 1}, & m \in \left(-2; -1 - \frac{1}{\sqrt{2}}\right) \end{cases}.$$

2) Оператор A является сюръективным оператором с одномерным ядром.

Доказательство. Первое утверждение леммы доказано в работе[3] (теорема 2). Следовательно $q(A) = q(B) > 0$ и оператор A сюръективен. Для доказательства второго утверждения достаточно проверить, что решения однородного уравнения $Ax = \theta$ образуют множество

$$\ker A = \left\{ c x_0, x_0(t) = t^\gamma, \gamma = \frac{1}{2} + \frac{1}{2}\sqrt{1 - 4m}, c \in R \right\}. \quad (3)$$

Без ограничения общности линейный ограниченный функционал $l: W_2^0 \to R$ будем рассматривать в виде $lx = \int_0^T \varphi(s) x''(s) ds$, где $\varphi \in L_2$ [2].

Лемма 2. Пусть $m \in \left(-\infty; -1 - \frac{1}{\sqrt{2}}\right)$, $x_0(t) = t^\gamma$, где $\gamma = \frac{1}{2} + \frac{1}{2}\sqrt{1 - 4m}$ и функция $\varphi(\cdot) \in L_2$ такова, что $\int_0^T \varphi(t) x_0''(t)\, dt = 1$. Тогда оператор $P: W_2^0 \to W_2^0$,

$$(Px)(t) = x_0(t) \int_0^T \varphi(s) x''(s) ds,$$

является линейным ограниченным проектором на ядро оператора A.

Для доказательства достаточно проверить, что в условиях леммы оператор P обладает свойством $P^2 = P$. Очевидно, что значениями этого оператора являются элементы ядра оператора A.

Лемма 3. В условиях леммы 2 краевая задача

$$\begin{cases} x''(t) + \frac{m}{t^2} x(t) = f(t), \\ lx = \int_0^T \varphi(t) x''(t)\, dt = \alpha. \end{cases} \quad (4)$$

однозначно разрешима для любых $f \in L_2$, $\alpha \in R$.

При этом для решения задачи (4) справедливо представление

$$x(t) = \alpha x_0 + K_p f \ . \qquad (5)$$

Доказательство. Рассмотрим разложение пространства W_2^0, порождаемое проектором P, в прямую топологическую сумму

$W_2^0 = kerA \oplus X_0$, где $X_0 = kerP$.

В условиях леммы оператор A имеет ограниченный обобщенный правый обратный K_P, обладающий свойствами: 1) $AK_p = I$, 2) $K_p A = P^c$, 3) $K_p \le \frac{1}{q(A)}$.

Для произвольного $f \in L_2$ элемент $v = K_p f \in X_0$ является решением уравнения (4_1). Элемент $u = \alpha x_0$ принадлежит $kerA$ и является решением уравнения (4_2). Тогда $x = u + v$ – решение задачи (4), при этом справедливо представление (5).

Однозначная разрешимость обусловлена тем фактом, что пространство W_2^0 имеет представление в виде прямой топологической суммы подпространств $kerA$ и X_0.

2. В этом пункте приведем основной результат работы, то есть достаточные условия однозначной разрешимости задачи (1)-(2).

Будем предполагать, что $f : [0,T] \times R^2 \to R$ удовлетворяет условию Каратеодори.

Теорема. Пусть выполнены условия:

1) $m \in \left(-\infty; -1 - \frac{1}{\sqrt{2}}\right)$;

2) $\int_0^T \varphi(t)\, x_0''(t)\, dt = 1$;

3) существуют такие неотрицательные константы k_1 и k_2, что для любого $t \in [0,T]$ и произвольных $u_1, u_2, v_1, v_2 \in R$, справедливо неравенство $\left| f(t,u_1,v_1) - f(t,u_2,v_2) \right| \le k_1 |u_1 - u_2| + k_2 |v_1 - v_2|$;

4) справедливо неравенство $\frac{T}{2}(k_1 T + \sqrt{2} k_2) < \tilde{q}(m)$,

где $q(m) = \begin{cases} 1, & m \le -2, \\ \sqrt{2m^2 + 4m + 1}, & -2 < m < -1 - \frac{1}{\sqrt{2}}. \end{cases}$

Тогда задача (1)-(2) однозначно разрешима для любого $\alpha \in R$.

Доказательство. Краевую задачу (1)-(2) запишем в виде абстрактной краевой задачи

$$\begin{cases} Ax = Fx, \\ lx = \alpha, \end{cases} \qquad (6)$$

где операторы $A, F : W_2^0 \to L_2$ определены равенствами

$$Ax = x''(t) + \frac{m}{t^2} x(t), \ Fx = f\left(t, x(t), x'(t)\right).$$

В условиях теоремы задача (6) эквивалентна операторному уравнению

$$x = \Phi x \equiv \alpha x_0 + K_p F x \qquad (7)$$

Оценим константу Липшица нелинейного оператора F. Для этого будем использовать неравенства $\|x\|_{L_2} \le \frac{T^2}{2} \|x''\|_{L_2}$, $\|x'\|_{L_2} \le \frac{T}{\sqrt{2}} \|x''\|_{L_2}$ справедливые для произвольного $x \in W_2^0$.

Для произвольных $x_1, x_2 \in W_2^0$ справедливы неравенства

$$\|Fx_1 - Fx_2\|_{L_2} = \left(\int_0^T \left| f\left(t, x_1(t), x_1'(t)\right) - f\left(t, x_2(t), x_2'(t)\right) \right|^2 dt \right)^{1/2} \le$$

$$\left(\int_0^T \left(k_1 |x_1(t) - x_2(t)| \right)^2 dt \right)^{1/2} + \left(\int_0^T \left(k_2 |x_1'(t) - x_2'(t)| \right)^2 dt \right)^{1/2} \le k_1 \frac{T^2}{2} \|x_1'' - x_2''\| + k_2 \frac{T}{\sqrt{2}} \|x_1'' - x_2''\| =$$

$$= \frac{T}{\sqrt{2}}\left(\frac{k_1 T}{\sqrt{2}} + k_2\right)\|x_1 - x_2\|_{W_2^0}.$$

Таким образом, для константы Липшица оператора F получена оценка

$$k_F \le \frac{T}{\sqrt{2}}\left(\frac{k_1 T}{\sqrt{2}} + k_2\right).$$

Оператор Φ удовлетворяет условию Липшица с константой Липшица меньше единицы. Действительно, в силу условия 4), имеем

$$k_\Phi \le \|K_P\| k_F \le \frac{1}{q(m)} k_F < 1.$$

Применение принципа Банаха завершает доказательство.

Список литературы

1. *Абдуллаев А.Р., Брагина Н.А.* Операторы Грина с минимальной нормой // Известия вузов. Математика. 2003, № 4, с. 5-9.

2. *Азбелев Н.В., Максимов В.П., Рахматуллина Л.Ф.* Элементы современной теории функционально-дифференциальных уравнений. Методы и приложения (Ин-т компьютерных исследований, М., 2002).

3. *Абдуллаев А.Р., Конопацкая Е.В., Плехова Э.В.* О дифференциальном операторе второго порядка с сингулярным потенциалом // Научно-технический вестник Поволжья. – 2014. – №6. – С.14 - 18.

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ (02.00.00)

02.00.04

Е.С. Бахвалова, А.А. Добрянская, Г.Н. Демиденко, А.В. Быков

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

МЕТАЛЛОСОДЕРЖАЩИЕ ПОЛИМЕРСТАБИЛИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ В ЖИДКОФАЗНОМ ГИДРИРОВАНИИ АРЕНОВ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-4-16-18

В статье рассмотрены результаты каталитического тестирования в жидкофазном гидрировании бензола и анилина систем Pt/MN100, Pd/MN100, Ru/MN100, а также представлены результаты физико-химических исследований этих систем.

Ключевые слова: *жидкофазное гидрирование, полимерстабилизированный катализатор, бензол, анилин.*

Современные крупнотоннажные процессы синтеза полимеров, процессы тонкого химического синтеза, синтезы фармацевтических субстанций, ускорителей вулканизации, ингибиторов коррозии зачастую содержат каталитические стадии гидрирования или окисления и природа каталитической системы, включая как металл активной фазы, так и носитель оказывает существенное влияние на селективность такой стадии.

Настоящая работа посвящена исследованию возможности применения стабилизированных в ароматической полимерной матрице платины, палладия и рутения, в процессах жидкофазного гидрирования аренов.

1 Методы и методики

Каталитические системы Pt/MN100, Pd/MN100, Ru/MN100, содержащие 2% металла были синтезированы пропиткой порошка полимера MN100 (Purolite Inc.) по влагоемкости раствором платиновой кислоты, ацетата палладия или основного хлорида рутения (IV),соответственно, после чего образец сушили при 70^0C и восстанавливали при 300^0C в токе водорода (100 мл/мин) в течение трех часов.

Каталитический эксперимент: в реактор-автоклав загружали предварительно восстановленный катализатор, взвешенный с точностью до $1\cdot10^{-4}$ г. Добавляли расчетное количество субстрата (бензол или анилин) и 40 мл растворителя, после чего реактор герметизировали, продували азотом, устанавливали выбранную скорость перемешивания и грели под давлением азота (5 МПа для бензола, 2 МПа для анилина). После достижения температуры реакции азотную атмосферу заменяли водородом, устанавливали необходимое давление и вели реакцию, отбирая в установленное время 8 проб.

Методика хроматомасс-спектрометрического анализа катализата представлена в [1]. Методики инфракрасной спектроскопии, рентгенофотоэлектронной спектроскопии (РФЭС) и термогравиметрии (ТГ) катализаторов представлены в [2].

2 Результаты и обсуждение

Результаты каталитического тестирования исследованных полимерстабилизированных систем представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Приведенные скорости процесса при 50% конверсии субстрата (W_{50}) в жидкофазном гидрировании бензола в различных растворителях

Растворитель / Катализатор	Гексан	Додекан	Изопропиловый спирт
W_{50}, моль(бензола)/(моль(металла)*с)			
Pt/MN100	187.2	15.3	16.6
Pd/MN100	11.9	5.8	-
Ru/MN100	7.1	-	-

Как следует из приведенных в таблице 1 данных, изопропиловый спирт является наихудшим выбором из исследованных растворителей, что может быть объяснено конкурентной адсорбцией субстрата и растворителя.

Для всех исследованных систем процесс гидрирования бензола до циклогексана активнее всего протекает в гексане, при этом катализаторы можно выстроить в ряд по активности: Pt/MN100<<Pd/MN100<Ru/MN100. Независимо от активности системы и конверсии субстрата, интегральная селективность процесса в каждом случае близка к 100%. Результаты каталитических тестов гидрирования анилина до циклогексиламина (ЦГА) демонстрируют обратный результат: наиболее активно и селективно процесс ведет система Ru/MN100, в то время как система Pt/MN100 быстро дезактивируется образующимся дифениламином и выделяющимся аммиаком. Повторное использование Pt/MN100 в гидрировании бензола в гексане приводит к снижению активности процесса на 7%.Гидрирование анилина в присутствии Ru/MN100 протекает с той же скоростью.

Таблица 2 – Приведенная скорость процесса при 50% конверсии субстрата (W_{50}) и селективность жидкофазного гидрирования анилина

Система	Гексан		Додекан	
	Селективность по ЦГА, %	W_{50}, Моль(суб) / Моль(Me)·с	Селективность по ЦГА, %	W_{50}, Моль(суб) / Моль(Me)·с
Pt/MN100	50.7	0.18	75.4	0.06
Pd/MN100	40.8	0.08	38.8	0.06
Ru/MN100	87.1	0.05	94.0	0.09

Исследования методами инфракрасной спектроскопии (рис. 1) и термогравиметрии (рис. 2) показывают, что сушка катализатора при 70 ^{0}C на воздухе позволяет удалить реакционную массу из приповерхностных слоев полимерной сетки, однако, для ее полного удаления необходима сушка в инертной среде при температурах 150-160 ^{0}C.

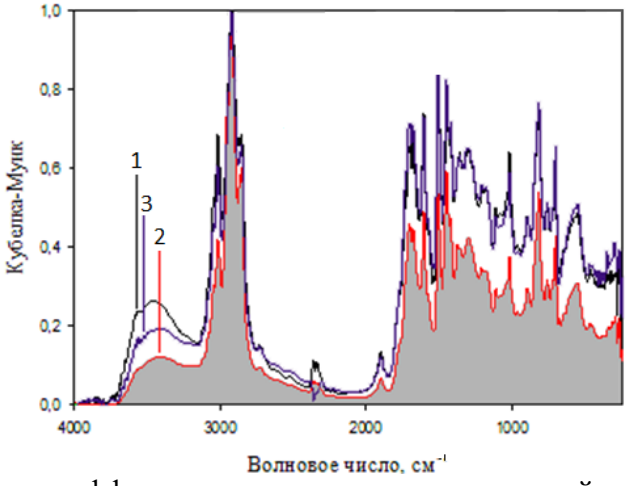


Рис. 1. – ИК-спектры диффузного отражения каталитической системы Pt/MN100: восстановленной (1), после эксперимента (2) и после эксперимента и сушки при 70^{0}C (3)

Анализ элементного состава поверхности каталитических систем Pt/MN100 и Ru/MN100 методом РФЭС (таблица 3) показывает, что в ходе восстановления катализатора происходит дезаминирование приповерхностных слоев полимерной матрицы и удаление кислорода, введенного в составе растворителя или прекурсора металла. В случае Pt/MN100 содержание платины в ходе восстановления изменяется незначительно, в то время как для Ru/MN100 наблюдается некоторое концентрирование рутения в приповерхностном слое в ходе восстановления, что связано с миграцией водорастворимых соединений рутения в процессе удаления из полимерной матрицы воды.

Анализ спектров высокого разрешения подуровня Pt 4f позволяет установить, что поверхность катализатора практически не содержит прекурсора – гексахлорплатиновую кислоту (75.4 эВ), однако содержит оксид платины (IV) (74.6 эВ), гидроксид платины (II) (72.8 эВ) и металлическую платину (71.3 эВ). Последние два компонента образуются в

результате гидролиза и восстановления прекурсора полимерной матрицей. В ходе восстановления катализатора наблюдается частичное восстановление гидроскида платины в металлическую платину. Восстановление рутенийсодержащей системы приводит к формированию RuO_2 (281.3 эВ) [3].

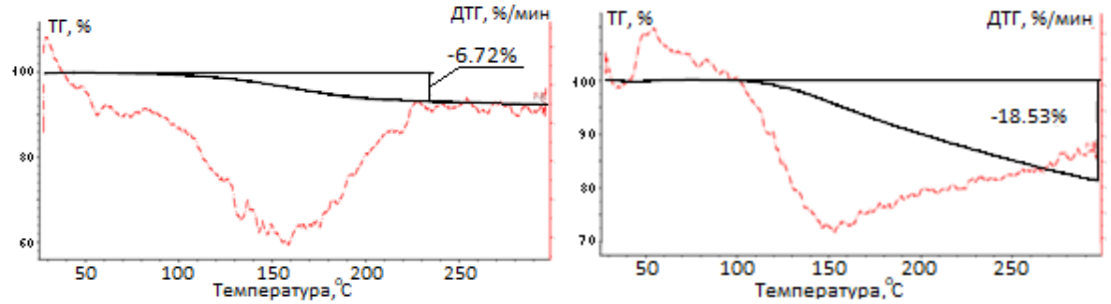


Рис. 2. – ТГ-кривые каталитической системы Pt/MN100 после эксперимента в гексане (а) и в додекане (б)

Таблица 3 – Элементный состав поверхности исходных и восстановленных катализаторов по данным РФЭС в атомных процентах

	Pt/MN100		Ru/MN100	
Элемент	Исходный	Восстановленный	Исходный	Восстановленный
C 1s	78.7	87.3	80.0	83.7
N 1s	3.5	1.4	3.0	2.3
O 1s	13.5	7.8	15.0	10.4
Cl 2p	1.2	0.7	0.3	0.8
Pt 4f	3.1	2.8	-	-
Ru	-	-	1.7	2.8

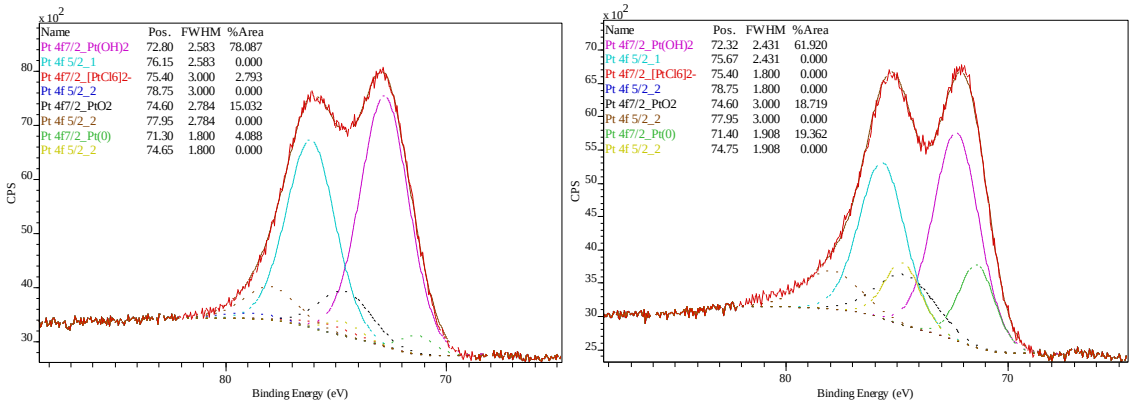


Рис. 3. – Спектр высокого разрешения подуровня Pt 4f и его модельное разложение для невосстановленного и восстановленного при 300^0C Pt/MN100

Заключение

В работе показано, что процессы восстановления ароматического ядра бензола и анилина могут быть эффективно проведены при использовании каталитических систем Pt/MN100 и Ru/MN100. На основе кинетических данных и результатов исследований в повторных циклах предполагаемых процессов разрушения и деградации каталитических систем не установлено.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (контракт 16-08-00355).

Список литературы

1. *Демиденко Г.Н., Евдокимова Д.В., Забрусская А.В., Быков А.В.* Платина, стабилизированная в полимерной матрице, в жидкофазном гидрировании аренов // Научно-технический вестник Поволжья, 2016. – Том 5. – С. 34-36.

2. *Самойлова Г.В., Демиденко Г.Н., Никошвили Л.Ж., Быков А.В.* Природа активной фазы полимерстабилизированной рутенийсодержащей каталитической системы жидкофазного синтеза N-метиланилина // Научно-технический вестник Поволжья, 2016. – Том 5. – С. 46-48.

3. NIST X-Ray Photoelectron Spectroscopy Database, Vercion 4.1; http://srdata.nist.gov/xps/

02.00.15

М.Е. Григорьев, В.Г. Матвеева, Е.В. Антонов, А.Ю. Гребенюк

Тверской государственный технический университет,
кафедра Биотехнологии и Химии,
Тверь, GE.Max2015@yandex.ru

КИНЕТИКА КАТАЛИТИЧЕСКОГО ГИДРИРОВАНИЯ D-КСИЛОЗЫ ДО D-КСИЛИТА

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-4-19-21

В данной работе представлены результаты кинетического исследования процесса каталитического гидрирования D-ксилозы до D-ксилита. Изучено влияние температуры, парциального давления водорода и концентрации субстрата на конверсию D-ксилозы и селективность процесса гидрирования. В качестве каталитической системы был использован рутениевый катализатор Ru/СПС MN 100.

Ключевые слова: *катализатор, гидрирование, D-ксилоза, D-ксилит.*

Общеизвестно, что большинство моносахаридов, как и многие углеводы, применяются для получения широкого спектра органических веществ, и прежде всего многоатомных спиртов – полиолов, используемых во многих отраслях промышленности. Многоатомные спирты получают путем каталитического гидрирования водных растворов углеводов [1 – 3]. Так, например, из маннозы получают манит, из ксилозы ксилит, из целлобиозы сорбит и из лактозы лактит. Эти многоатомные спирты, являясь продуктами основного органического синтеза, нашли широкое применение в самых разнообразных отраслях промышленности [4,5]. Среди большого числа многоатомных спиртов особый интерес представляют продукты гидрирования и гидрогенолиза моно- и дисахаридов.

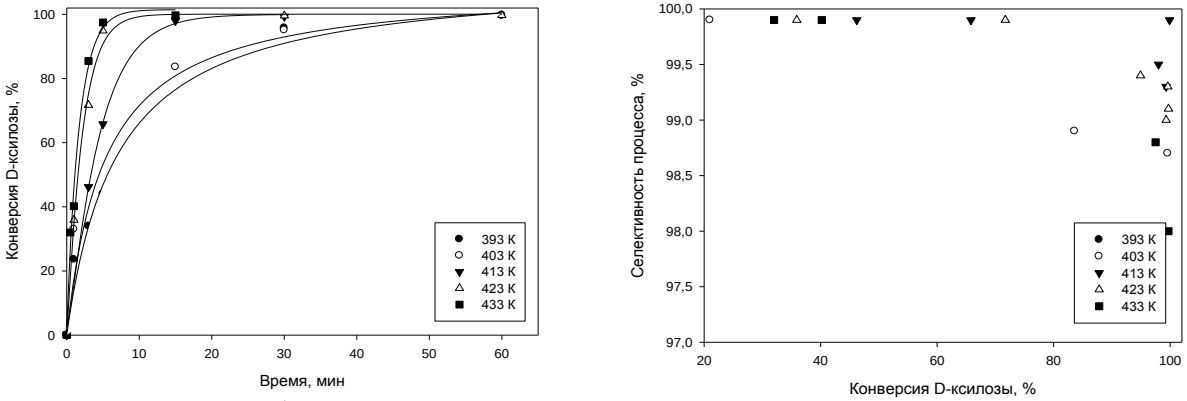
Ксилит, продукт каталитического гидрирования ксилозы, находит широко применение в пищевом, фармацевтическом и косметическом производстве, а так же для получения синтетических смол.

Для гидрирования D-ксилозы используют в основном никелевые и рутениевые гетерогенные катализаторы [6]. Процесс гидрирования проводят при высоком давлении водорода и температуре не более 200 ^{0}C. Высокое давление необходимо чтобы увеличить растворимость водорода в объеме реакционной жидкости. Температура проведения процесса влияет не только на растворимость водорода в реакционной среде, но и способствует более быстрому протеканию процесса гидрирования [6]. Поэтому изучения влияния данных параметров на процесс гидрирования имеет большое значение. Оптимальные параметры способны обеспечивать высокий выход продукта, а также проводить процесс гидрирования селективно.

Целью данной работы является изучить влияния температуры, парциального давления водорода и концентрации субстрата на конверсию D-ксилозы и селективность проведения процесса гидрирования.

В качестве катализатора в данной работе был использован гетерогенный катализатор Ru/СПС MN 100 (СПС – сверсшитый полистирол с аминогруппами марки MN 100). Гидрирование D-ксилозы проводилось в периодическом реакторе объемом 250 см^3, снабженном рубашкой с теплоносителем, магистралью подвода водорода и загрузочной камерой для водного раствора ксилозы. Перед проведением реакции, катализатор в водной среде насыщали водородом при рабочем парциальном давлении и температуре. После чего, подавали водный раствор субстрата из загрузочной камеры к водной суспензии катализатора насыщенного водородом. Пробы отбирались через пробоотборник. Процесс гидрирования проводился в кинетической области.

В ходе кинетического исследования было установлено влияние температуры на конверсию D-ксилозы и селективность процесса гидрирования. Эксперименты проводились при следующих условиях: масса рутениевого катализатора 0.4 г, начальная концентрация ксилозы 0.4 моль/л, парциальное давление водорода 40 атм, температуру варьировали от 393 К до 433 К. С увеличением температуры происходит повышение конверсии субстрата, что характерно для большинства каталитических реакций (рисунок 1а).

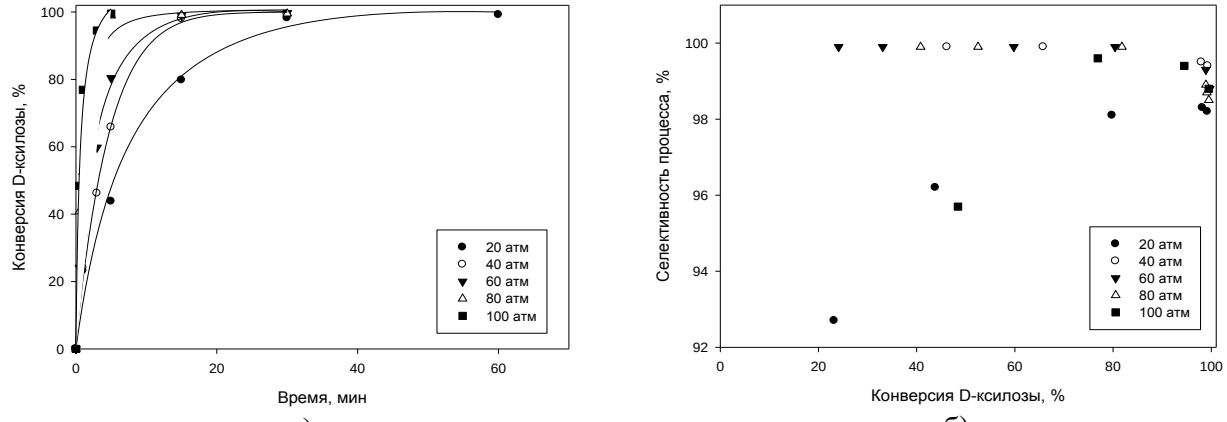


а) б)

Рисунок 1 – Влияние температуры на а) конверсию D-ксилозы и б) селективность процесс гидрирования

Однако, повышение температуры отрицательно сказывается на селективности процесса гидрирования. Увеличение температуры приводит к снижению селективности процесса при высоком значении конверсии ксилозы (от 70%), как показано на рисунке 1б. Данную зависимость можно объяснить тем, что с увеличением температуры происходит повышение скорости протекания побочных реакций, а также возможное разрушение субстрата или продукта. Наибольшее значение селективности процесса гидрирования ксилозы (более 99 %) при полной конверсии субстрата было при 413 К.

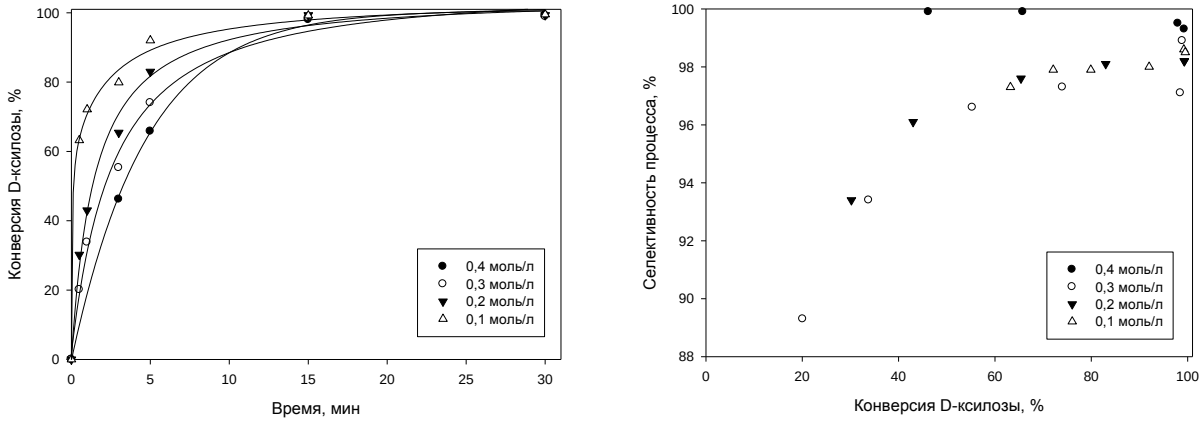
После проведения экспериментов по варьированию температуры были осуществлены опыты по варьированию парциального давления водорода. Эксперименты проводились при следующих условиях: 0.4 моль ксилозы/л, 0.4 г. рутениевого катализатора, 413 К, парциальное давление водорода варьировали от 20 до 100 атм. Данные экспериментов приведены на рисунке 2. Как видно из рисунка 2а с увеличением парциального давления водорода происходит повышение конверсии субстрата, что характерно для большинства реакций гидрирования. При этом практически не происходит снижения селективности процесса гидрирования D-ксилозы. Стабильно высокая селективность процесса наблюдается при парциальном давлении водорода 40 атм при конверсии субстрата более 99% (рисунок 2б).



а) б)

Рисунок 2 – Влияние парциального давления водорода на а) конверсию D-ксилозы и б) селективность процесс гидрирования

Исследования влияния концентрации субстрата на конверсии D-ксилозы и селективность процесса гидрирования проводилось при следующих условиях: 0.4 г. рутениевого катализатора, 413 К, парциальное давление водорода 40 атм, концентрация D-ксилозы варьировалась от 0.4 до 0.1 моль/л. Данные экспериментов приведены на рисунке 3. Как видно из рисунка 3а, увеличение концентрации приводит к снижению конверсии субстрата во времени. При этом, происходит повышение селективности процесса гидрирования. Селективность увеличивается и принимает близкие значения при конверсии более 80%.



а) б)

Рисунок 3 – Влияние концентрации субстрата на а) конверсию D-ксилозы и б) селективность процесс гидрирования

Данное кинетическое исследование позволило выявить влияние температуры, парциального давление водорода и концентрации субстрата на процесс гидрированияD-ксилозы. Наибольший выход целевого продукта – D-ксилита, был получен при 140 ^{0}C, 40 атм и 0.4 моль ксилозы/л. Селективность процесса при данных условиях и конверсии ксилозы более 99% составила 99.3%.

Работа была выполнена в рамках проекта 16-08-00306 финансируемого РФФИ.

Список литературы

1. *BärA.* Sugar alcohols: xylitol// Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. – 2003. – 34 p.
2. *MikkolaJ., VainioH., SalmiT., SjoholmR., OllonqvistT., VayrynenJ.*Deactivation kinetics of Mo-supported Raney Ni catalyst in thehydrogenation of xylose to xylitol // Applied Catalysis A: General. – 2000. - №196. – p.143-155.
3. *Zhang J., Wu S., Liu Y., Li B.*Hydrogenation of glucose over reduced Ni/Cu/Al hydrotalcite precursors // Catalysis Communications. – 2013. –p. 23-26.
4. *Шарков В.И., Куйбина Н.И.*Химия гемицеллюлоз // М.: Лес.пром., 1972. – 440 с.
5. *Надиров Н.К, Слуцкин Р.В.* Каталитическое гидрирование и гидрогенолиз углеводов // М.: Химия, 1976. – 216 с.
6. *Pham T. N., Samikannu A., Rautio A-R., JuhaszK. L.*CatalyticHydrogenationofd-XyloseOverRuDecorated Carbon Foam Catalyst in a SpinChem® Rotating Bed Reactor // Topics in Catalysis. – 2016. – №59 – pp. 1165 – 1177.

02.00.04

Г.Н. Демиденко, Л.Ж. Никошвили, А.В. Быков

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

СТАБИЛЬНОСТЬ ПОЛИМЕРСТАБИЛИЗИРОВАННОЙ РУТЕНИЙ СОДЕРЖАЩЕЙ КАТАЛИТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ЖИДКОФАЗНОГО СИНТЕЗА N-МЕТИЛАНИЛИНА

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-4-22-25

В статье рассмотрены стабильность рутениевой полимерстабилизированной каталитической системы в повторных реакционных циклах восстановительного N-алкилирования анилина формальденидом в присутствии водорода и результаты исследований методами ИК-спектроскопии, рентгенофотоэлектронной спектроскопии, термогравиметрии.

Ключевые слова: *восстановительное N-алкилирование, полимерстабилизированный катализатор, рутений, стабильность в повторных циклах.*

Введение

Одним из базовых типов химических реакций, используемых для построения углеродного скелета молекул являются реакции N-алкилирования [1].

Целью настоящей работы является исследование стабильности рутений содержащей каталитической системы на основе промышленного стирол-дивинилбензольного сорбента марки MN100, используемой в реакции восстановительного N-алкилирования анилина формальдегидом в присутствии водорода [2].

1 Методы и методики

Методика восстановления катализатора: порошок катализатора помещался в стеклоткань и переносился в трубчатый реактор. Реактор продувался азотом для удаления воздуха, после чего в него подавался водород со скоростью 100 мл/мин. Затем реактор разогревался до 300°С. После достижения 300°С проводилось восстановление катализатора в течение 3 часов. По истечении этого времени нагрев прекращался, и катализатор остывал в токе водорода до температуры 30-40°С, после чего продувался азотом. Восстановленный катализатор хранился в бюксе на воздухе.

Методики хроматомасс-спектрометрического анализа катализата, инфракрасной спектроскопии диффузного отражения, рентгенофотоэлектронной спектроскопии (РФЭС) и термогравиметрии (ТГ) представлены в [4].

2 Результаты и обсуждение

Для исследования стабильности каталитической системы на основе рутения, импрегнированного в промышленном сорбенте MN100 в реакции восстановительного N-алкилирования был проведен ряд повторных каталитических циклов, между которыми катализатор отфильтровывался и подвергался сушке на воздухе при 70^0С. Приведенная скорость и интегральная селективность процесса по монометиланилину (ММА) в повторных циклах приведены в таблице 1. Как следует из данных таблицы, приведенная скорость процесса второго цикла снижается на 3.5%. В дальнейшем, от цикла к циклу снижение скорости составляет около 0.4%, в то время как селективность по монометиланилину сохраняет значение 92%.

Для выяснения причин такого поведения каталитической системы были проведены исследования методом рентгенофотоэлектронной спектроскопии. Результаты анализа элементного состава поверхности методом РФЭС представлены в таблице 2. Из полученных

данных следует, что после первого каталитического цикла происходит снижение содержания на поверхности катализатора рутения на 0.5%ат., что может быть объяснено смыванием крупных частиц активной фазы с поверхности полимера в реакционный раствор. Суммарное уменьшение содержания рутения на поверхности полимера в последующих каталитических циклах не превышает 0.2%ат. Одновременно, в первом каталитическом цикле происходит увеличение содержания азота и кислорода на поверхности катализатора, что объясняется адсорбцией субстратов и продукта полимерной матрицей. Сопоставление кинетических данных и данных РФЭС позволяет заключить, что скорость процесса напрямую зависит от содержания рутения на поверхности катализатора (рис. 1).

Для установления природы активной фазы катализатора и ее изменений в повторных каталитических циклах были зарегистрированы РФЭ-спектры высокого разрешения подуровней 1s углерода и 3d палладия (рис. 2). В [4] показано, что в ходе восстановления катализатора на его поверхности образуется единственное соединение рутения RuO_2 (281.3 эВ). В РФЭ-спектрах каталитических систем после повторных циклов зарегистрировано единственное химическое состояние рутения с энергией связи 281.3±0.1 эВ – RuO_2. При этом, к пятому циклу наблюдается увеличение интенсивности компоненты углерода с энергией связи 288.2 эВ (>C=O), связанной с образованием продукта реакции формальдегида с полимером. Анализ спектра высокого разрешения подуровня N 1s позволяет идентифицировать компоненту с энергией связи 400.0 эВ, относящейся к аминогруппе субстрата и продукта [5].

Для подтверждения этого предположения были выполнены исследования каталитических систем методом инфракрасной спектроскопии диффузного отражения (рис. 3). Возникновение полос 2375 $см^{-1}$ (ν_{N-H}), 1676 $см^{-1}$ (δ_{N-H}), 1018 $см^{-1}$ (ν_{C-N}), 3044 $см^{-1}$ ($\nu_{CHаром}$) связано с адсорбцией ММА, а составные частоты 2733 $см^{-1}$ и 2805 $см^{-1}$, а также 1761 $см^{-1}$ ($\nu_{C=O}$) связаны с адсорбцией формальдегида [6]. Это предположение подтверждается потерей массы в интервале температур 100-300^{0}C на ТГ-кривой катализатора после рецикла (рис. 4).

Таблица 1 – Приведенная скорость и интегральная селективность процесса по ММА в повторных циклах

Цикл	Приведенная скорость, моль(Суб)/(моль(Ru)*с)	Селективность по ММА, %
1	$4.88 \cdot 10^{-5}$	92.1
2	$4.71 \cdot 10^{-5}$	92.3
3	$4.69 \cdot 10^{-5}$	92.2
4	$4.67 \cdot 10^{-5}$	92.1
5	$4.66 \cdot 10^{-5}$	91.9

Таблица 2 – Состав поверхности каталитических систем

Элемент	Элементный состав поверхности, %ат					
	Исходная восстановленная	Каталитический цикл				
		1	2	3	4	5
Ru	3.3	2.7	2.6	2.6	2.5	2.5
C	84.1	77.8	77.6	77.7	77.7	77.8
O	10.8	16.2	16.5	16.6	16.6	16.7
N	1.1	2.5	2.6	2.5	2.7	2.6
Cl	0.7	0.7	0.7	0.6	0.5	0.4

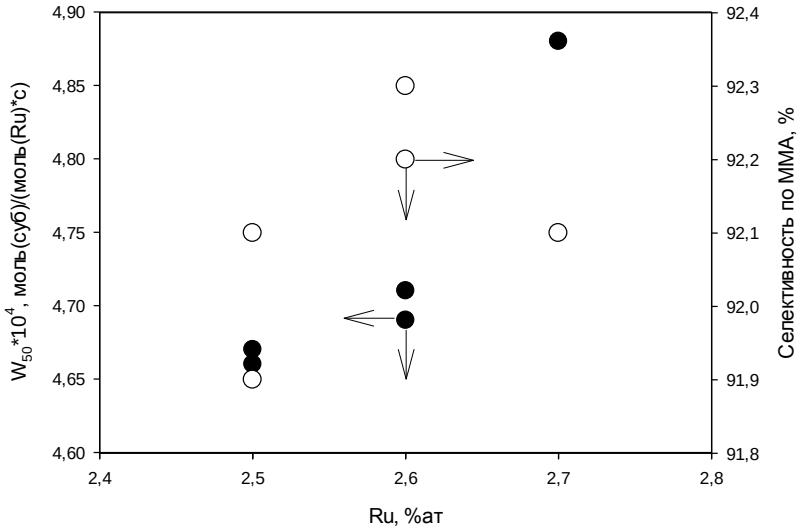


Рис. 1. – Зависимость приведенной скорости от концентрации рутения на поверхности катализатора

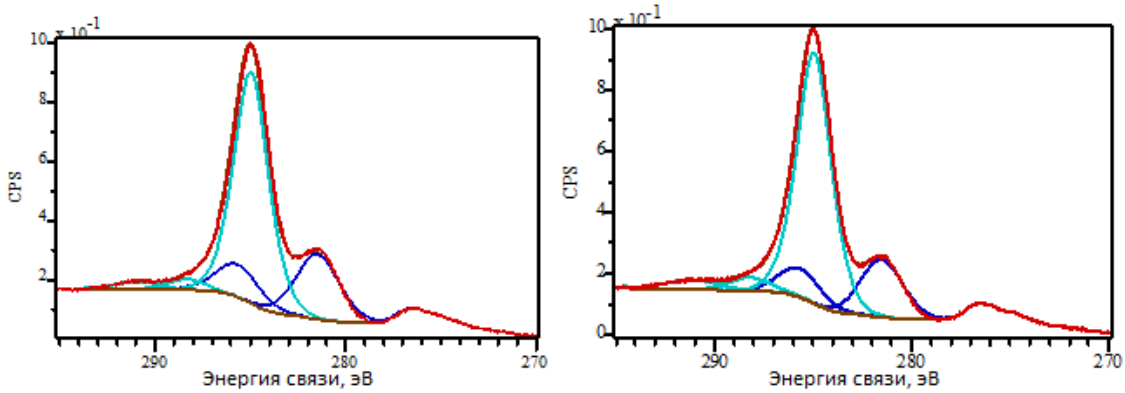


Рис. 2. – Фотоэлектронные спектры высокого разрешения подуровней C 1s и Ru 3d для катализатора после первого (слева) и пятого (справа) каталитических циклов

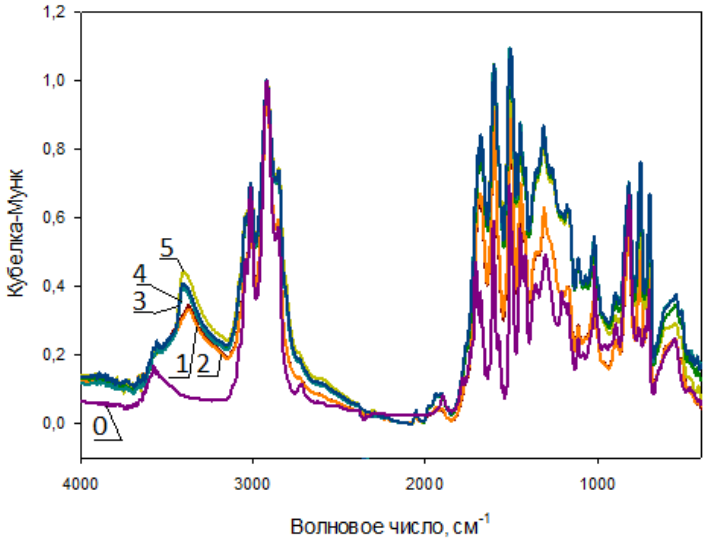


Рис. 3. – ИК-спектры исходной каталитической системы (0) и систем после каталитических циклов (1-5)

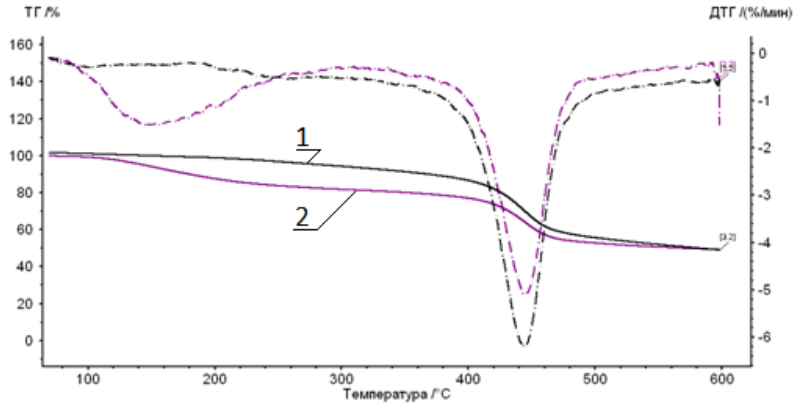


Рис. 4. – ТГ-кривые исходного восстановленного (1) и отработанного (2) катализаторов

Заключение

Проведенные исследования показали высокую стабильность каталитической системы Ru/MN100 в реакции восстановительного N-алкилирования. Состав рутений-содержащей фазы катализатора в повторных циклах не изменяется, однако полимерная матрица склонна к абсорбции продукта и его полное удаление из каталитической системы сопряжено с прогревом до 300^0C в инертной среде.

Работа выполнена при финансовой поддержке российского фонда фундаментальных исследований (контракт **15-08-01678)**.

Список литературы

1. *Barthlow, M.* Pharmacy Times / M. Barthlow // Pharm. – 2011. – 429 p.
2. *Быков А.В., Степанова Г.В., Атласкина Т.В.* N-Алкилирование анилина формальдегидом с использованием металлов платиновой группы, стабилизированных в сверхсшитом полистироле // Успехи в химии и химической технологии. – 2015. – Том 29. – С. 124-126.
3. *Быков А.В., Демиденко Г.Н., Самойлова (Степанова) Г.В.* Полимерстабилизированный рутениевый катализатор восстановительного N-алкилирования ароматических аминов // Символ науки. – 2015. – С. 54-55.
4. *Самойлова Г.В., Демиденко Г.Н., Никошвили Л.Ж., Быков А.В.* Природа активной фазы полимерстабилизированной рутенийсодержащей каталитической системы жидкофазного синтеза N-метиланилина // Научно-технический вестник Поволжья, 2016. – Том 5. – С. 46-48.
5. NIST X-ray Photoelectron Spectroscopy Database, Version 4.1 (National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, 2012); http://srdata.nist.gov/xps/
6. Определение строения органических соединений. Таблицы спектральных данных / *Э. Преч, Ф. Бюльман, К. Аффольтер*. – Пер. с англ. – М.: Мир; БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. – 438 с.

02.00.15

[1]М.Е. Маркова, [2]А.А. Степачёва, [3]А.В. Гавриленко, [3]М.Г. Сульман, [2]Э.М. Сульман

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

СИНТЕЗ ФИШЕРА-ТРОПША В ПРИСУТСТВИИ КАТАЛИЗАТОРОВ, СИНТЕЗИРОВАННЫХ В СУБКРИТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-4-26-28

В данной работе приводятся результаты тестирования кобальт- и никельсодержащих катализаторов на основе оксидов кремния и алюминия, синтезированных в среде субкритической воды и субкритического пропанола-2, в процессе жидкофазного синтеза Фишера-Тропша (СФТ). Было показано, что кобальтовые катализаторы, нанесенные на оксид кремния обладают наибольшей селективностью к образованию углеводородов бензинового ряда.

Ключевые слова: *синтез Фишера-Тропша, кобальт, никель, субкритические условия.*

Введение

Синтез Фишера-Тропша (СФТ) позволяет получать широкий спектр газообразных, жидких и твердых продуктов [1]. Современные исследования направлены, в основном, на получение жидких углеводородов бензинового ряда с высоким выходом желаемых продуктов. Оценка литературных данных показывает, что СФТ – трехфазный процесс, в котором участвуют синтез-газ, газообразные углеводороды, жидкие углеводороды и твердый катализатор. Причем на первоначальном этапе в системе присутствуют лишь две фазы – газовая и твердая [2]. Известно, что катализатор, а также условия СФТ оказывают влияние на состав получающихся продуктов, в частности, на соотношение углеводородной и кислородсодержащей составляющих [3, 4]. Катализаторами СФТ являются металлы VIII группы, наиболее активные: Ru, Co, Fe, Ni. Наиболее перспективными катализаторами СФТ считаются в настоящее время кобальтовые системы, которые при давлении 1-30 атм и температуре 120-130 °С позволяют получать из CO и H_2 жидкие и твердые парафиновые углеводороды с селективностью до 90%.

В настоящее время, возрастает интерес к наноразмерным катализаторам и методам их синтеза. Одним из многообещающих методов синтеза катализаторов является синтез металлических и оксидных частиц с использованием суб- и сверхкритических жидкостей [5, 6]. Методы суб- и сверхкритического синтеза катализаторов позволяют получать кристаллические наночастицы с размером 3-10 нм, при этом не наблюдается значительного уменьшения площади поверхности носителя, следовательно, пористость катализатора остается довольно высокой. Кроме того, высокая кристалличность образующейся активной фазы позволяет избежать процесса дополнительной кальцинации.

В данной работе предлагается использование кобальт- и никельсодержащих катализаторов, синтезированных в субкритических условиях, в процессе Фишера-Тропша с целью получения углеводородов бензинового ряда.

Экспериментальная часть

Материалы

В данной работе использовались следующие реагенты: кобальта хлорид ($CoCl_2 \cdot 6H_2O$, х.ч., «Химреактив», Россия), никеля хлорид ($NiCl_2 \cdot 6H_2O$, х.ч., «Химреактив», Россия), кремния

оксид (SiO_2, х.ч., «Химреактив», Россия), алюминия оксид (Al_2O_3, х.ч., «Химреактив», Россия), пропанол-2 (C_3H_8O, х.ч., «ЭКОС-1», Россия), вода дистиллированная, водород (H_2, 99.8%), монооксид углерода (CO, 99+%), додекан ($C_{12}H_{26}$, х.ч., Sigma Aldrich, США).

Процедура синтеза катализаторов

Синтез катализаторов проводился в реакторе Parr-4307 (Parr Instrument, США). В реактор вносились 15 мл растворителя (пропанола-2 или воды), 1 г носителя (оксида кремния или алюминия), 0.1 г гидрокарбоната натрия для подщелачивания и соль металла в количестве 10 масс. % от массы носителя. Реактор герметизировался, продувался азотом и нагревался до 200 °C под давлением водорода 6.0 МПа. Синтез катализаторов проводился в течение 15 минут, после чего реакционная смесь охлаждалась до комнатной температуры, фильтровалась и промывалась растворителем до отсутствия реакции на хлорид-ионы.

Процедура тестирования катализаторов в синтезе Фишера-Тропша

СФТ проводился в жидкой фазе в среде додекана в реакторной установке полупериодического типа на базе реактора Parr-4307 (Parr Instrument, США). В реактор вносился додекан объемом 15 мл и катализатор массой 0.1 г. Далее реактор герметизировался, продувался водородом и нагревался до рабочей температуры 200 °C. После достижения требуемой температуры реактор заполнялся смесью водорода и монооксида углерода с объемным соотношением 1:6 при давлении синтез-газа 2.0 МПа. Синтез проводился при непрерывном перемешивании со скоростью 700 об/мин. Анализ жидкой фазы проводился методом газовой хроматографии масс-спектрометрии с использованием газового хроматографа GC-2010 и масс-спектрометра GCMS-QP2010S (SHIMADZU, Япония).

Результаты и обсуждение

Следующие катализаторы были синтезированы в субкритических условиях с использованием воды (H_2O) и пропанола-2 (ИПС): $Co/SiO_2(H_2O)$, Co/SiO_2(ИПС), $Co/Al_2O_3(H_2O)$, Co/Al_2O_3(ИПС), Ni/Al_2O_3(ИПС), $Ni/Al_2O_3(H_2O)$, $Co\text{-}Ni/Al_2O_3$(ИПС), $Co\text{-}Ni/Al_2O_3(H_2O)$.

Результаты тестирования синтезированных катализаторов в СФТ представлены в таблице.

Таблица – Состав жидкой фазы СФТ после 2 часов эксперимента

Катализатор	Содержание продукта в жидкой фазе, масс. %					
	н-пентан	н-гексан	н-гептан	бензол	цикло-гексан	бута-нол-1
$Co/SiO_2(H_2O)$	0.4	54.7	39.2	4.0	1.7	-
Co/SiO_2(ИПС)	3.0	45.4	15.9	21.8	13.9	-
$Co/Al_2O_3(H_2O)$	9.1	65.3	2.5	0.5	1.2	21.4
Co/Al_2O_3(ИПС)	11.7	62.4	1.6	0.2	0.9	23.2
Ni/Al_2O_3(ИПС)	38.9	17.3	0.7	-	-	43.1
$Ni/Al_2O_3(H_2O)$	27.6	23.8	1.5	-	-	47.1
$Co\text{-}Ni/Al_2O_3$(ИПС)	10.6	56.5	8.2	-	-	24.7
$Co\text{-}Ni/Al_2O_3(H_2O)$	8.1	58.1	11.2	-	-	22.6

Как видно из таблицы, использование оксида алюминия в качестве носителя каталитически активных частиц приводит к образованию кислородсодержащего продукта – бутанола-1. Как известно, глинозем представляет собой льюисовскую кислоту, поэтому появление алканолов в составе жидкой фазы СФТ, вероятно, связано с наличием большого количества основных центров на поверхности носителя. Оксид кремния, наоборот, является сильной кислотой Бренстеда, которая способствует протеканию реакций дегидратации. Этим объясняется отсутствие кислородсодержащих соединений в продуктах СФТ, катализируемого кобальтом, нанесенным на кремнезем.

Кобальтовые катализаторы показывают высокую селективность по углеводородам. Кроме того среди продуктов обнаружены циклосоединения и арены. Их присутствие повышает топливные характеристики получаемого продукта. Использование никеля в качестве катализаторов приводит к образованию линейных алканов. При этом наблюдается

увеличение селективности к низкомолекулярным продуктам, которые, в свою очередь, снижают октановое число получаемого топлива. Кроме того, никель проявляет высокую селективность к образованию спиртов. Известно, что никель обладает высокой гидрирующей способностью, чем объясняется уменьшение длины цепи образующихся углеводородов. Увеличение селективности к образованию спиртов может быть объяснено сильным влиянием носителя на процесс. Использование биметаллических катализаторов приводит к снижению селективности по бутанолу-1 по сравнению с никелевыми катализаторами, а также к увеличению содержания гептана, что может быть связано с влиянием кобальта.

На рисунке представлено сравнение выхода линейных углеводородов.

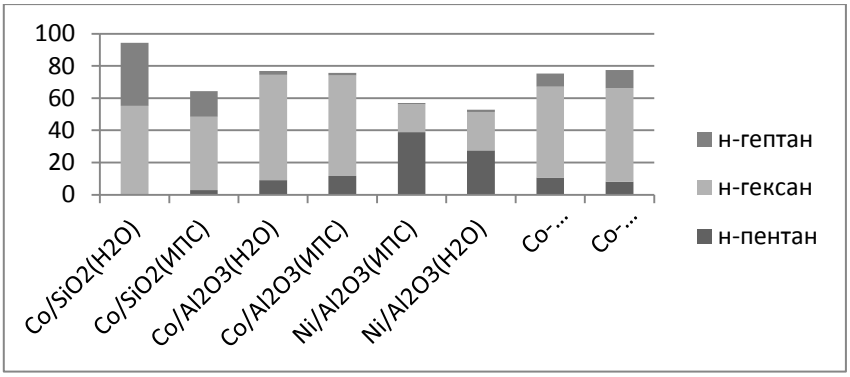


Рисунок – Содержание линейных углеводородов C_5-C_7 в продуктах СФТ

Анализ рисунка позволяет заключить, что катализатор $Co/SiO_2(H_2O)$ обладает наибольшей селективностью к образованию линейных углеводородов C_5-C_7, позволяя получить 95% выход продукта. При этом основными продуктами являются н-гексан и н-гептан.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований (проект **).**

Список литературы

1. *Крылова А.Ю., Козюков Е.А.* Получение жидких углеводородов из природного газа // Газохимия. – 2008. – С. 65-70.

2. *Малолетнев А.С.* Современное состояние технологий получения жидких топлив из углей // Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева). - 2008. - Т. LII. - № 6. - С. 44-52.

3. *Караханов Э.А.* Синтез-газ как альтернатива нефти. Процесс Фишера – Тропша и оксо–синтез // Соросовский Образовательный Журнал. – 1997 . – Т. 19, № 3. – С. 7-69.

4. *Anderson R.B., Friedel R.A., Storch H.H.* Fischer-Tropsch Reaction Mechanism Involving Stepwise Growth of Carbon Chain // J. Chem. Phys. - 1951. - V. 19. - P. 313.

5. *Otsu J., Oshima Y.* New approaches to the preparation of metal or metal oxide particles on the surface of porous materials using supercritical water: Development of supercritical water impregnation method // J. of Supercritical Fluids. – 2005. – Vol. 33. – pp. 61–67.

6. *Ye X.-R., Lin Y., Wang C., Endelhard M.H., Wang Y., Wai C.M.* Supercritical fluid synthesis and characterization of catalytic metal nanoparticles on carbon nanotubes // J. Mater. Chem. – 2004. – Vol. 14. – pp. 908 – 913.

02.00.04

[1]В.П. Молчанов к.х.н., [1]В.Ю. Долуда к.х.н., [1]М.Е. Григорьев к.х.н., [1]Э.М. Сульман д.х.н., [2]Г.Ю. Рабинович д.б.н.

[1]Тверской государственный технический университет,
химико-технологический факультет,
[2]Всероссийский научно-исследовательский институт мелиорированных земель,
поселок Эммаус Тверской области
Тверь, science@science.tver.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ВЫХОД САХАРОВ В ПРОДУКТАХ БИОКОНВЕРСИИ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ И ОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-4-29-32

Исследован процесс биоконверсии отходов животноводства и трудногидролизуемого растительного сырья (торфа) с последующей ультразвуковой обработкой ферментируемой смеси. Проведены физико-химические исследования и выявлена возможность целевого биосинтеза продуктов с высоким содержанием сахаров с целью получения эффективных удобрений с заранее заданными свойствами.

Ключевые слова: *биоконверсия, растительное сырье, органические отходы, физико-химический анализ, сахара, удобрения*.

Введение

Возрастающие потребности в продукции химико-фармацевтической и пищевой промышленности требуют создания новых технологий синтеза ценных биологически активных соединений. Многочисленные биохимические и биотехнологические исследования показывают возможность использования специфических процессов из этих областей для промышленного синтеза целевых компонентов на основе дешевого природного органического сырья. В аспекте ожидаемого истощения природных ресурсов решение этой проблемы приобретает особое значение, так как продукты фотосинтеза и животного мира в будущем могут стать почти единственным полимерным сырьем для химического синтеза и биотехнологии.

Приемлемыми средствами для получения биологически активных веществ могут служить процессы биоконверсии, в которых доступные органические материалы играют роль исходного субстрата как для синтеза отдельных целевых компонентов, так и для получения эффективных удобрений и кормовых добавок с заранее заданными свойствами. Одним из наиболее перспективных направлений биоконверсии материалов природного происхождения является твердофазная ферментация органических отходов и трудногидролизуемого растительного сырья. К сожалению, данный процесс не реализован в промышленном масштабе, поскольку необходимые для этого микробиологические, физико-химические и кинетические исследования до настоящего времени не проводились.

Сырьем для твердофазной биоконверсии может служить разнообразное углеродсодержащее сырье. Органические отходы сельского хозяйства и различных отраслей промышленности являются доминирующим видом потенциального сырья для микробиологической конверсии во многих странах. В качестве потенциального сырья могут рассматриваться отходы пищевых производств (молокоперерабатывающей промышленности, крахмалопаточного и хлебопекарного производства), торф, навоз, отходы лесной и деревообрабатывающей промышленности (опилки, кора, мелкая стружка), отходы производства кукурузы, хлопчатника, винограда, отходы табачной промышленности.

Важнейшими свойствами сырья, используемого для биоконверсии, являются уровень биогенности (он определяется в первую очередь содержанием микроорганизмов в отходах сельского хозяйства), а также содержание углерода, способное обеспечить этот уровень за счет энергетики, привносимой углеродсоставляющими растительных остатков, которые в свою очередь являются базовыми связующими звеньями для всех реакций метаболизма в клетках микроорганизмов [1]. Таким образом, именно наличие в исходном органическом сырье присущих ему сообществ микроорганизмов и необходимых для них элементов питания способно определять ход процесса ферментации и формирование конечного продукта.

Как правило, в начале процесса ферментации преобладают аэробные мезофильные бактерии, в то время как на последующих стадиях численность этих бактерий уменьшается, и увеличивается популяция актиномицетов. Затем начинают развиваться целлюлозоразрушающие грибы. При повышении температуры до 80 ºС подавляется рост микроорганизмов, в том числе термофильных патогенных бактерий. В связи с этим следует поддерживать условия, при которых, с одной стороны, будет погибать патогеннная микрофлора, а с другой – развиваться микроорганизмы, ответственные за деградацию биополимеров. После нагрева органической массы наступает фаза остывания. В этой стадии происходят сложные реакции между остатками лигнина, полисахаридов и белками погибших микрооганизмов.

Для стимуляции процесса ферментации используют различные физические воздействия: температуру, ультразвук, аэрацию, а также добавляют различные макро- и микроэлементы.

Методика эксперимента

Исследован процесс биоконверсии смеси органических отходов животноводства и трудногидролизуемого сырья растительного происхождения с дополнительным внесением в исходную смесь различных солей аскорбиновой кислоты. Процесс ферментации проводили по следующей технологической схеме:

1. Подготовительный этап – приготовление исходной смеси «торф-навоз» в соответствии с экспериментально определенным ранее оптимальным соотношением 50:50, введение биологически активных стимуляторов, перемешивание [2].
2. Инкубационный этап – выдержка ферментируемой органической массы в течение 60 часов при температуре 37ºС и кратковременном барботаже через каждые 24 часа.
3. Пастеризационный этап – обработка конечного продукта ультразвуком интенсивностью 50-60 Вт/см^2 в течение 3 минут для уничтожения патогенной микрофлоры и повышения интенсивности экстракции образовавшихся в продукте ферментации биологически активных компонентов (в том числе, сахаров).

В ходе ферментации торфонавозной смеси производили отбор проб, в которых определяли наличие и изменение содержания сахаров на жидкостном хроматографе типа "Хроматэк – Кристалл ВЭЖХ 2014". Предварительно навеску исследуемого материала диспергировали с десятикратным количеством пятипроцентного раствора уксусной кислоты, осадок удаляли центрифугированием в течение 15 минут при частоте вращения 5000 об/мин с последующим фильтрованием. Результаты определения содержания сахаров регистрировались в виде хроматографических пиков [3].

Результаты и выводы

В многочисленных экспериментах при соответствующих повторах были изучены интенсивность и динамика образования сахаров в процессе биоконверсии растительного сырья и органических отходов. На рисунках 1-3 представлены образцы хроматограмм торфонавозной смеси: до начала ферментации (на подготовительном этапе), после 60 часов ферментации (на инкубационном этапе) и после ультразвуковой обработки продукта биоконверсии (на пастеризационном этапе).

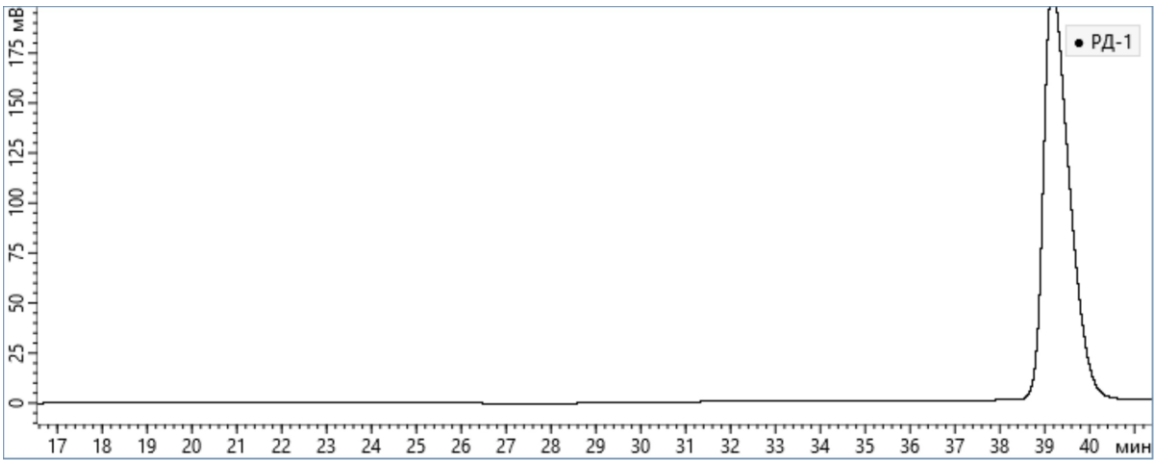


Рис. 1 – Хроматограмма торфонавозной смеси до биоконверсии

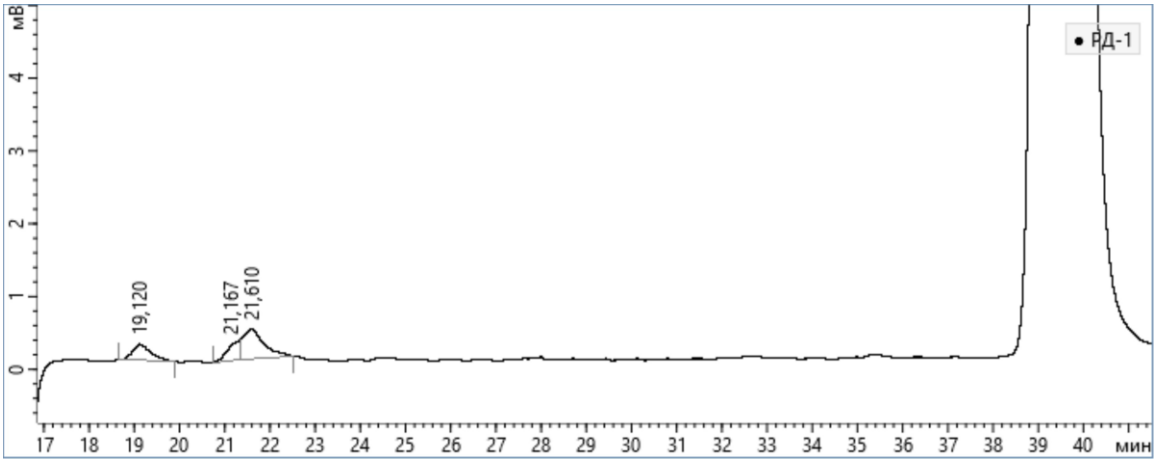


Рис. 2 – Хроматограмма торфонавозной смеси после биоконверсии
(без ультразвуковой обработки)

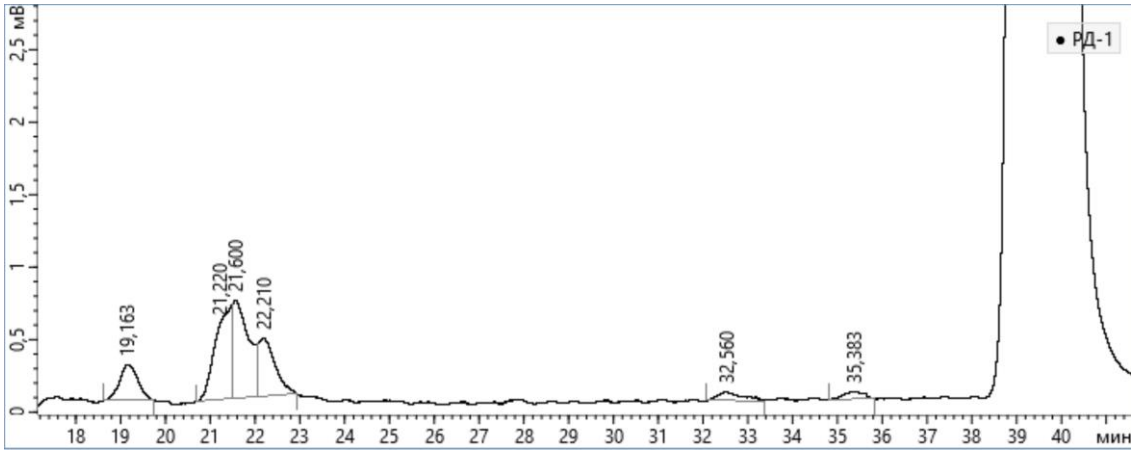


Рис. 3 – Хроматограмма торфонавозной смеси после биоконверсии
и обработки ультразвуком

Анализ представленных хроматограмм показывает, что в ходе ферментации торфонавозной смеси в ней образуется значительное количество сахаров, присутствие которых не отмечается на хроматограмме исходной смеси. Причем, после обработки отферментированной смеси ультразвуком интенсивность экстракции сахаров существенно возрастает, что приводит к увеличению их количества в детектируемой смеси в среднем в 2.3 раза. Таким образом, ультразвуковая обработка является не только удобным инструментом для пастеризации готового продукта биоконверсии, но и значительно повышает биодоступность образующихся в ходе ферментации сахаров.

Выполненные анализы конечного продукта биоконверсии подтверждают возможность его использования в качестве удобрения и премикса при разработке рационов для крупного рогатого скота и сельскохозяйственной птицы [4]. Проведенные исследования позволили осуществить серию лабораторных испытаний процесса биоконверсии растительного сырья и органических отходов на базе Всероссийского научно-исследовательского института мелиорированных земель.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 15-08-00256).

Список литературы

1 Биотехнологическое использование отходов растениеводства / А.И. Осадочная, В.С. Подгорский, В.Ф. Семенов – Киев: Наукова думка, 1990.

2 *Ковалев Н.Г., Рабинович Г.Ю., Сульман Э.М., Пакшвер С.Л., Рогов Р.В.* Способ получения кормовых добавок и удобрений из органических отходов // Патент РФ №2126779.

3 *Лейбниц Э., Штрупке Х.Г.* Руководство по хроматографии. – М.: Мир, 1988.

4 *Калунянц К.А., Ездаков Н.В., Пивняк И.Г.* Применение продуктов микробиологического синтеза в животноводстве. – М.: Колос, 1980.

02.00.04

[1]В.П. Молчанов к.х.н., [2]Н.В. Фомичева к.б.н., [1]Е.А. Прутенская к.б.н., [1]Э.М. Сульман д.х.н., [2]Г.Ю. Рабинович д.б.н.

[1]Тверской государственный технический университет,
химико-технологический факультет,
[2]Всероссийский научно-исследовательский институт мелиорированных земель,
поселок Эммаус Тверской области
Тверь, science@science.tver.ru

АНАЛИЗ КИНЕТИКИ БИОКАТАЛИТИЧЕСКОГО СИНТЕЗА АМИНОКИСЛОТ В ПРОЦЕССЕ БИОКОНВЕРСИИ ПРИРОДНОГО ОРГАНИЧЕСКОГО СЫРЬЯ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-4-33-36

В данной статье рассмотрены формально-кинетический анализ и оптимизация биокаталитичского синтеза свободных аминокислот в процессе биоконверсии органического сырья.

Ключевые слова: *формально-кинетический анализ, оптимизация биокаталитического синтеза, синтез свободных аминокислот, биоконвенсия*.

Введение

Биоконверсия является одним из наиболее перспективных способов переработки органических отходов различной природы. Существующие способы биоконверсии делят на две группы – прямая и непрямая биотрансформация. При непрямой биотрансформации деградация субстрата осуществляется биохимическими, химическими или биологическими методами. При прямой в разложении субстрата участвует ассоциация микроорганизмов. В этом случае каждый определенный вид микроорганизмов утилизирует специфичные для них органические вещества.

Примером практического использования прямой биотрансформации пищевых отходов является их переработка в компост многоцелевого назначения [1]. Получение компоста многоцелевого назначения представляет собой сложный динамический микробиальный процесс. Условия твердофазной ферментации обеспечивают жизнедеятельность различных систематических групп микроорганизмов: бактерий, грибов и актиномицетов [2]. Все они обладают выраженной способностью к целлюлозоразрушению, среди которых, благодаря наличию мощной мультиферментной системы, необходимой для гидролиза целлюлозы, выделяются грибы, на продуктах жизнедеятельности которых активно развиваются бактерии и актиномицеты [3].

Математическая модель процесса накопления свободных аминокислот в ферментируемой смеси

С химической точки зрения процесс биоконверсии представляет собой совокупность большого количества биохимических реакций, протекающих внутри микробных клеток под действием определенных ферментных систем. В связи с этим, как построение кинетических моделей образования продуктов ферментации в исследуемой системе, так и раскрытие механизмов конкретных химических реакций сопряжено с известными трудностями. Описание процесса накопления свободных аминокислот в смеси осложняется также тем, что речь идет об образовании целой группы продуктов, каждый из которых формируется в результате протекания некоторой последовательности химических превращений [4]. Тем не менее, имеются все основания предполагать, что накопление аминокислот подчиняется обычным закономерностям химической кинетики, так как для неэлементарных реакций всегда может быть обнаружена лимитирующая стадия, определяющая скорость протекания исследуемого процесса [5].

Таким образом, процесс образования свободных аминокислот в ходе биоконверсии может быть описан при помощи аппарата формальной кинетики с нахождением числовых значений параметров уравнений математического описания [6]. Особый интерес представляет исследование закономерностей изменения указанных параметров под влиянием стимуляторов процесса биоферментации.

Для определения закономерностей накопления свободных аминокислот в опытах с добавлением в исходную смесь стимуляторов (аскорбинатов различных металлов) и в контрольном эксперименте без использования стимуляторов была решена обратная задача химической кинетики с нахождением значений кинетических параметров. При этом в качестве математического описания было использовано степенное уравнение, сходное с классическим уравнением формальной кинетики дробного порядка:

$$\frac{d[P]}{dt} = k \times [S]^n \quad (1)$$

где [P] – концентрация свободных аминокислот в массовых процентах;

t – время от начала протекания процесса инкубации, час;

k – константа скорости реакции образования свободных аминокислот, 1/час;

[S] – концентрация субстрата в массовых процентах;

n – порядок реакции.

В таблице 1 представлены результаты определения кинетических параметров процесса образования свободных аминокислот при внесении в исходную смесь солей аскорбиновой кислоты в заранее определенной оптимальной массовой концентрации 0,045 %.

Таблица 1 – Кинетические параметры процесса при добавлении оптимальных количеств биостимуляторов

Вносимый аскорбинат	Порядок реакции	Константа скорости, 1/час
аскорбинат Co	0,9	0,013
аскорбинат Na	1,8	0,009
аскорбинат K	2,1	0,010
аскорбинат Ca	1,8	0,019
аскорбинат Zn	0,9	0,040
аскорбинат Fe	0,2	0,047
без аскорбинатов	1,4	0,007

Приведенные данные показывают, что определяемые кинетические параметры процесса обнаруживают высокую чувствительность к природе применяемого биостимулятора. Видна некоторая тенденция, в соответствии с которой порядок реакции снижается при добавлении высокоэффективных стимуляторов (аскорбинатов железа, цинка и кобальта) и, напротив, увеличивается при внесении биостимуляторов, незначительно интенсифицирующих процесс накопления свободных аминокислот. Вероятнее всего, подобный феномен связан с процессом активизации различных ферментных систем микробных клеток под действием катионов металлов, входящих в состав указанных солей аскорбиновой кислоты. При этом константа скорости и порядок реакции достаточно сильно изменяются при повышении или понижении концентрации биостимулятора от оптимального значения. Так, при использовании оптимального количества аскорбинатов происходит значительное уменьшение значения порядка реакции, то есть в этом случае скорость образования аминокислот в соответствии с уравнением (1) слабее всего зависит от содержания субстрата в процессе биоконверсии.

Итак, решение обратной задачи химической кинетики позволило выявить закономерности изменения кинетических параметров процесса образования аминокислот в ходе биоконверсии в условиях его интенсификации с применением солей аскорбиновой кислоты различных металлов. Проведенные исследования показывают, что существует тенденция снижения порядка реакции при использовании более эффективных биостимуляторов в концентрациях, оптимальных для максимального накопления свободных аминокислот в смеси.

Анализ полученных в ходе кинетического моделирования результатов позволяет сделать важный вывод о сложности и множественности механизмов образования свободных аминокислот в ходе исследуемого процесса биоферментации.

Кинетическая модель роста популяции микроорганизмов в ходе процесса биоконверсии

Наряду с исследованием процесса накопления конечного продукта в ферментируемой смеси большой интерес представляет изучение кинетических закономерностей роста микробной популяции, обусловливающей протекание химических превращений в ходе биоконверсии [7]. Однако составление математического описания развития всего микробного ценоза связано с погрешностью при оценке кинетических параметров ввиду высокой морфологической вариативности последнего, а также не имеет большого значения с точки зрения образования свободных аминокислот в смеси. Поэтому особую ценность приобретает кинетическое моделирование роста продуцентов аминокислот, поскольку, как было показано выше, именно их жизнедеятельность непосредственно сопряжена с накоплением аминокислот в ходе биоконверсии [8].

Ввиду того, что в процессе инкубации популяция продуцентов аминокислот большую часть времени находится в стадии экспоненциального роста, для получения математического описания может быть использовано классическое уравнение Моно:

$$\mu = \frac{\mu_m \times S}{K_S + S} \qquad (2)$$

где μ – удельная скорость роста, 1/час;

μ_m – максимальная скорость роста, 1/час;

S – концентрация лимитирующего субстрата в массовых процентах;

K_S – постоянная сродства субстрата к микроорганизму.

В качестве лимитирующего субстрата обычно выступает наиболее важный компонент среды, обеспечивающий биосинтетические основы метаболизма и регулирующий в той или иной степени скорость роста микробной культуры. Обнаруженная зависимость скорости развития вышеуказанной популяции от концентрации солей аскорбиновой кислоты в смеси позволяет сделать предположение о том, что роль лимитирующего субстрата в каждом случае играют применяемые в экспериментах биостимуляторы.

При помощи соотношения (2) были определены кинетические параметры роста микроорганизмов, продуцирующих аминокислоты, при добавлении к исходной смеси различных солей аскорбиновой кислоты. Результаты расчетов приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Кинетические параметры роста продуцентов аминокислот при добавлении различных биостимуляторов

Вносимый аскорбинат	Максимальная скорость роста, 1/час	Константа сродства субстрата к микроорганизму, %
аскорбинат Co	0,009	0,014
аскорбинат K	0,015	0,049
аскорбинат Ca	0,042	0,077
аскорбинат Zn	0,019	0,003
аскорбинат Fe	0,082	0,180

Представленные данные показывают, что, например, при внесении аскорбината железа максимальная скорость роста культуры имеет наибольшее значение, тем не менее, высокое значение константы сродства субстрата к микроорганизму в этом случае в соответствии с уравнением (2) снижает реально достигаемые в ходе инкубации скорости развития популяции продуцентов аминокислот.

В этой связи не исключено, что в дальнейшем имеет смысл провести масштабные поисковые исследования для нахождения другого биологически активного вещества,

содержащего катионы железа, которое при добавлении к исходной смеси не будет вызывать ингибирования и позволит тем самым более существенно интенсифицировать развитие популяции микроорганизмов, продуцирующих аминокислоты. Однако следует подчеркнуть, что указанные выше эксперименты могут привести к положительному результату только в том случае, если наблюдаемое угнетение микробного роста обусловлено действием кислотного остатка вносимых в смесь аскорбинатов, а не катионов металлов, входящих в состав этих биостимуляторов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 15-08-00256).

Список литературы

1 *Наумова Г.В.* Торф в биотехнологии. Минск: Наука и техника, 1987.
2 *Мудрецова-Висс К.А*. Микробиология. М.: Экономика, 1985.
3 *Сидоренко О.Д.* Микробиологические основы получения компостов // Агрохимический вестник. Химия в сельском хозяйстве, 1997. №6.
4 Технология приготовления КМН. Тверь: ВНИИМЗ, 1994.
5 Комбикорма, кормовые добавки и ЗЦМ для животных. Справочник // Под ред. В.А. Крохиной. М.: Агропромиздат, 1990.
6 Микробиологический синтез аминокислот (Сборник АН ЛатвССР, ин-т микробиологии им. А. Кирхенштейна). // Под ред. П.А Кукайн, Ю.О.Якобсон, А.Э.Дук. Рига: Зинатне, 1972.
7 *Гусев М.В., Минеева Л.А.* Микробиология. М.: Изд-во МГУ, 1985.
8 Промышленная микробиология. // Под ред. Н.С. Егорова. М.: Высшая школа, 1989.

02.00.15

[1]Н.А. Немыгина, [3]Е.В. Семенова, [3]Л.Ж. Никошвили,
[2,4]М.Г. Сульман, [3]Э.М. Сульман, [5]L. Kiwi-Minsker

[1]Тверской государственный университет, кафедра физической химии,
Тверской государственный технический университет,
[2]кафедра стандартизации, сертификации и управления качеством,
[3]кафедра биотехнологии и химии,
[4]Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова
Российской академии наук, Москва
[5]Тверской государственный университет, Региональный технологический центр,
Тверь, n.nemygina@gmail.com

РЕАКЦИЯ КРОСС-СОЧЕТАНИЯ СУЗУКИ В ПРИСУТСТВИИ МОНО- И БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ Pd- И Au-СОДЕРЖАЩИХ КАТАЛИЗАТОРОВ НА ОСНОВЕ СВЕРХСШИТОГО ПОЛИСТИРОЛА

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-4-37-40

В данной работе приводятся результаты тестирования палладий- и золото-содержащих катализаторов на основе сверхсшитого полистирола в реакции кросс-сочетания 4-броманизола и фенилбороновой кислоты в присутствии NaOH в качестве основания. Показано, что монометаллические палладиевые катализаторы, а также биметаллические катализаторы обладают высокой активностью (за 4 часа реакции достигнута конверсия 4-броманизола более 98%) и селективностью. Кроме того, в биметаллических катализаторах наблюдался синергетический эффект от присутствия золота и палладия.

Ключевые слова: *катализ, кросс-сочетание Сузуки, палладий, золото, сверхсшитый полистирол.*

Введение

Реакция кросс-сочетания Сузуки – это один из наиболее распространенных способов получения биарилов. Благодаря ряду достоинств, таких как более мягкие условия реакции, возможность проводить кросс-сочетание в экологически благоприятных растворителях, таких как вода и этанол, коммерческая доступность бор-содержащих соединений, а также их низкая токсичность, реакцию Сузуки интенсивно используют в синтезе лекарственных препаратов, продуктов тонкого органического синтеза и жидких кристаллов [1].

Обычно в качестве катализаторов реакции Сузуки применяются гомогенные комплексы палладия на основе фосфор- и азот-содержащих лигандов, а также безлигандные катализаторы, которые, в отличие от гомогенных катализаторов, могут быть легко отделены от реакционной смеси и использованы повторно [2, 3].

В последнее время огромное внимание уделяют и моно- и биметаллическим катализаторам, содержащим золото, которое также способно катализировать реакцию Сузуки, но с меньшим выходом продукта по сравнению с палладием. Например, было показано [4], что наночастицы золота, нанесенные на оксиды щелочноземельных металлов, особенно на MgO или CaO, проявили высокую активность (выход продукта 89-93%) в реакции Сузуки в присутствии K_2CO_3 в качестве основания и с использованием диметилформамида как растворителя [4].

При использовании биметаллического катализатора Au-Pd/MCM-41 в реакции кросс-сочетания между *p*-бромтолуолом и фенилбороновой кислотой отмечалось заметное увеличение каталитической активности, селективности и выхода продукта по сравнению с монометаллическим аналогом Pd/MCM-41 (выход продукта за время реакции 4 часа увеличился с 70 до 84%). Кроме того, биметаллические катализаторы оказались более стабильными, что позволило использовать их в ходе трех последовательных рециклов без

заметной потери активности. Было сделано предположение, что улучшение свойств палладиевого катализатора при введении золота связано с синергетическим эффектом, возникающим между двумя элементами [5].

В данной работе исследована возможность использования палладий- и золотосодержащих моно- и биметаллических катализаторов на основе сверхсшитого полистирола (СПС) в реакции кросс-сочетания Сузуки между 4-броманизолом и фенилбороновой кислотой для получения 4-метоксибифенила в качестве целевого продукта.

Экспериментальная часть

Материалы

СПС марки MN100, содержащий аминогруппы, был приобретен в компании Purolite Int. (Великобритания). 4-Броманизол (≥ 98%) был приобретен в Merck KGaA (Германия). 4-Метоксибифенил (> 99%) был приобретен в Tokyo Chemical Industry Co. Ltd. (Япония). Фенилбороновая кислота (95%), бифенил (99.5%), дифениламин (99%), бис-(ацетонитрил)палладий(II)дихлорид ($PdCl_2(CH_3CN)_2$, > 99%), натрия гидроксид (≥ 98%), натрия карбонат (≥ 99.5%), натрия боргидрид (≥ 96%), этанол (≥ 99.8%) были приобретены в Sigma-Aldrich (США). Тетрахлороаурат(III) водорода ($HAuCl_4 \times nH_2O$, 48.95% Au) был приобретен в ОАО «Аурат». Ацетон (чда, ГОСТ 2603-79, ≥ 99.75%) был приобретен в ЗАО «База №1 Химреактивов». Тетрагидрофуран (чда, СТП ТУ КОМП 2-174-10, ≥ 99.5%) был приобретен в ООО «Компонент-реактив». Вода была деионизирована с использованием системы очистки ЭлсиАква.

Методика синтеза катализаторов

Монометаллические (1.8%-Au/СПС, 1.2%-Pd/СПС, 0.8%-Pd/СПС и 0.5%-Pd/СПС) и биметаллические (1.8%-Au-1.2%-Pd/СПС, 2%-Au-0.7%-Pd/СПС и 2%-Au-0.4%-Pd/СПС) катализаторы были синтезированы методом пропитки по влагоемкости СПС марки MN100 растворами прекурсоров $HAuCl_4$ и $PdCl_2(CH_3CN)_2$ в тетрагидрофуране в соответствии с методикой, описанной ранее [6]. Необходимо отметить, что перед пропиткой коммерческий СПС был измельчен до размера зерен < 63 мкм, промыт водой, ацетоном и высушен до постоянной массы [7].

Синтезированный катализатор 1.8%-Au/СПС был восстановлен двумя способами: в токе водорода (100 млH_2/мин, 300°C, 3 ч), а также водным раствором $NaBH_4$ (концентрации 1 моль/л). Синтез биметаллических катализаторов осуществлялся методом последовательного нанесения прекурсора палладия на золотой катализатор, предварительно восстановленный в токе водорода с последующим восстановлением палладия водным раствором $NaBH_4$ (концентрации 1 моль/л). Монометаллические катализаторы Pd/СПС также были восстановлены водным раствором боргидрида натрия.

Методика тестирования катализаторов в реакции Сузуки

Реакция проводилась в изотермическом стеклянном реакторе периодического действия (см. рисунок) в инертной атмосфере (азот) при атмосферном давлении, при следующих условиях: температура 60°C, количество 4-броманизола 1 ммоль, количество фенилбороновой кислоты 1.5 ммоль, в качестве основания использовали NaOH в количестве 1.5 ммоль, растворитель – смесь этанол/вода в соотношении 5:1. Время реакции – 4 часа. Пробы анализировались методом GS-MS (Shimadzu GCMS-QP2010S). Для построения калибровочных кривых были использованы химически чистые вещества, в качестве внутреннего стандарта использовался раствор дифениламина в изопропаноле.

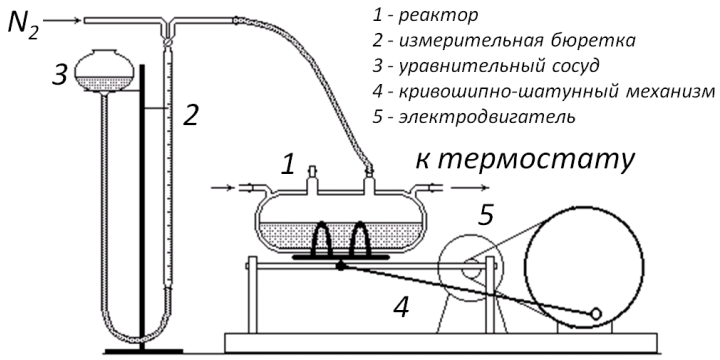


Рисунок – Схема установки для проведения реакции Сузуки

Результаты и обсуждение

Результаты тестирования моно- и биметаллических катализаторов с различным содержанием палладия представлены в таблице 1. Стоит отметить, что 1.8%-Au/СПС был практически неактивен в реакции Сузуки (выход продукта составил 6.4% и 0.8% после восстановления катализатора в токе водорода и водным раствором боргидрида натрия, соответственно).

Таблица 1 – Результаты тестирования моно- и биметаллических катализаторов с различным содержанием палладия

Катализатор	Конверсия 4-броманизола, %	Выход 4-метокси-бифенила, %
1.2%-Pd/СПС	96.6	95.4
0.8%-Pd/СПС	32.4	32.0
0.5%-Pd/СПС	29.9	29.6
1.2%-Pd-1.8%-Au/СПС	98.9	97.4
0.7%-Pd-1.8%-Au/СПС	96.0	94.9
0.4%-Pd-1.8%-Au/СПС	75.3	74.4

Полученные результаты показывают, что золото оказывает положительное влияние на активность палладия. В связи с этим были посчитаны коэффициенты синергизма (Z) (таблица 2) по максимальным активностям палладия (R_{max}) в моно- и биметаллических катализаторах. Так как активность 1.8%-Au/СПС была очень низкой, в расчетах коэффициента синергизма ее не учитывали.

Таблица 2 – Коэффициенты синергизма для катализаторов с различным содержанием палладия

Катализатор	R_{max}*, $ч^{-1}$	Катализатор	R_{max}, $ч^{-1}$	Z
1.2%-Pd/СПС	306	1.2%-Pd-1.8%-Au/СПС	216	0.7
0.8%-Pd/СПС	43	0.7%-Pd-1.8%-Au/СПС	443	10.2
0.5%-Pd/СПС	97	0.4%-Pd-1.8%-Au/СПС	594	6.1

* $R_{max} = N_{4\text{-}БА} \times X / (N_{Pd} \times \tau \times 100)$, где $N_{4\text{-}БА}$ и N_{Pd} – количество 4-броманизола и Pd, соответственно, моль; X – конверсия 4-броманизола, %; τ – время реакции до достижения конверсии, ч

Таким образом, наблюдается явный синергетический эффект (Z > 1) в биметаллических катализаторах с содержанием палладия менее 1%. Высокая активность биметаллических катализаторов в реакции Сузуки, вероятно, связана с резким увеличением площади палладия за счет формирования наночастиц с морфологией ядро(Au)-оболочка(Pd).

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

Список литературы

1. *Czajkowska-Szczykowska D., Morzycki J.W., Wojtkielewicz A.* Pd-catalyzed steroid reactions // Steroids. – 2015. – V. 97. – P. 13-44.
2. *Zhang M., Gao Y., Li C., Liang C.* Chemical vapor deposition of $Pd(C_3H_5)(C_5H_5)$ for the synthesis of reusable Pd@ZIF-8 catalysts for the Suzuki coupling reaction // Chinese Journal of Catalysis. – 2015. – V. 36. – P. 588-594.
3. *Pagliaro M., Pandarus V., Ciriminna R.* Heterogeneous versus homogeneous palladium catalysts for cross-coupling reactions // ChemCatChem. – 2012. – V. 4. – P. 432-445.
4. *Dumbre D.K., Yadav P.N., Bhargava S.K., Choudhary V.R.* Suzuki-Miyaura cross-coupling reaction between aryl halides and phenylboronic acids over gold nano-particles supported on MgO (or CaO) and other metal oxides // Journal of Catalysis. – 2013. – V. 301. – P. 134-140.
5. *Speziali M.G., da Silva A.G.M., de Miranda D.M.V., Monteiro A.L., Robles-Dutenhefner P.A.* Air stable ligandless heterogeneous catalyst systems based on Pd and Au supported in SiO_2 and MCM-41 for Suzuki-Miyaura cross-coupling in aqueous medium // Applied Catalysis A: General. – 2013. – V. 462-463. – P. 39-45.
6. *Nemygina N.A., Nikoshvili L.Zh., Matveeva V.G., Sulman M.G., Sulman E.M., Kiwi-Minsker L.* Pd-Nanoparticles Confined within Hollow Polymeric Framework as Effective Catalysts for the Synthesis of Fine Chemicals // Topics in Catalysis. – 2016. – V. 59. – P. 1 185-1195.
7. *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 // Topics in Catalysis. – 2012. – V. 55. – P. 492-497.

02.00.04

[1]Е.В. Пашкова, [1]А.Н. Шипуля, [1]Е.В. Волосова, [2]Е.В. Белик, [2]К.С. Эльбекьян

[1]ФГБОУ ВО Ставропольский государственный аграрный университет,
факультет экологии и ландшафтной архитектуры,
кафедра химии и защиты растений,
[2]ФГБОУ ВО Ставропольский государственный медицинский университет,
кафедра общей и биологической химии,
Ставрополь, plush.al@ya.ru

ПЕРСПЕКТИВЫ ПОЛУЧЕНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОРБЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ОРГАНОКРЕМНЕЗЕМНОЙ ПРИРОДЫ В БИОТЕХНОЛОГИИ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-4-41-43

В работе представлены результаты исследования получения сорбционных материалов, обладающих заданным составом и направленностью действия, а также возможности их практического применения для удаления белка из молочной сыворотки при создании технологии новых биопрепаратов.

Ключевые слова: *сорбционные материалы, молочная сыворотка, биопрепараты, озимая пшеница.*

В настоящее время весьма актуально направление по разработке синтетических сорбционных материалов органокремнеземной природы, перспективных для разделения белков различных биологических объектов. Такой интерес обусловлен широкими возможностями их применения в различных направлениях, наиболее важными из которых признаны биотехнология, пищевая промышленность, медицина, сельское хозяйство [1,2].

Данная работа посвящена получению сорбционных материалов, обладающих заданным составом и определенной направленностью биологического действия, и их практическое применение для отделения белков из молочной сыворотки при создании биопрепаратов.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ И ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

При получении сорбционных материалов использовали метод основанный на наличии гидрофобных участков на поверхности белков, что приводит к гидрофобным взаимодействиям различной силы с незаряженной полярными функциональными группами матрицей. Синтез сорбентов осуществлен на установке для молекулярного наслаивания (рисунок 1) в соответствии с методикой, представленной в работах [3].

Установка состоит из системы подготовки газа-носителя (1), обеспечивающего подачу реагентов в реактор (11) для синтеза. Система подготовки газа-носителя (воздух) представлена блоком осушителей (4,5,6,7), расположенных в следующем порядке: концентрированная серная кислота, гидроксид калия, ангидрон, пентаоксид фосфора.

Скорость газа-носителя изменялась в пределах 0,1-0,4л/мин и контролировалась с помощью реометра (2). При получении сорбента с гидрофобными свойствами реагент – фенилтрихлорсилан – помещался в испаритель (8,9), соединенный через многоходовый кран (3) с разъемным кварцевым реактором (11). Синтез сорбента путем его модифицирования осуществлялся при температуре 80-94°С в течение 2 часов. В качестве исходной матрицы был использован аэросилогель, на основе аэросила А-380, получаемый формированием пористой структуры с образованием гидрогеля и в последующем ксерогеля, при этом объем его уменьшается в 9-12 раз благодаря действию капиллярных сил.

Получение аминокремнеземного сорбента происходило путем формирования пористой структуры в присутствии аминосилана. В качестве структурных единиц, формирующих состав сорбентов, использован кремнезем аэросил А-380.

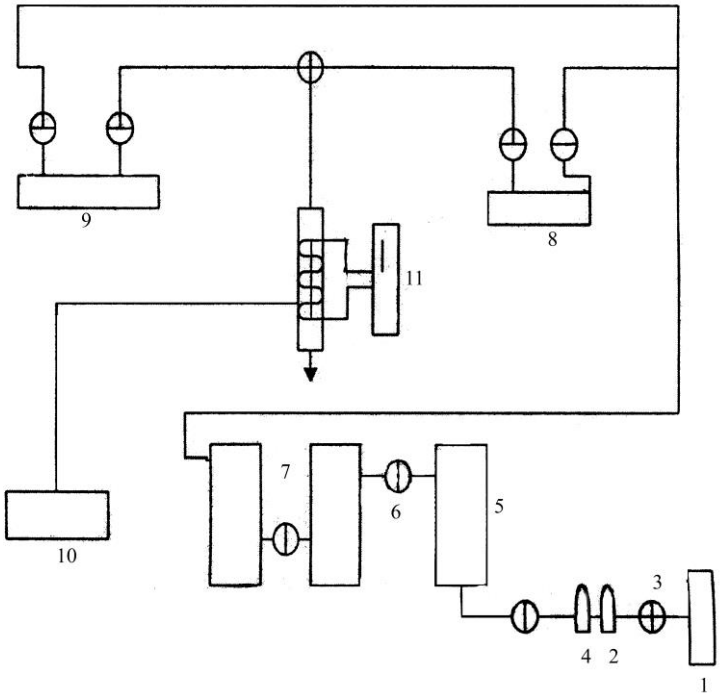


Рис. 1 - Схема установки для молекулярного наслаивания
(1 - источник газа-носителя; 2 - реометр; 3 - краны; 4 - осушитель – концентрированная H_2SO_4; 5 - осушитель КОН; 6 - осушитель ангидрон; 7 - осушитель P_2O_5; 8, 9 - испарители реагентов; 10 - потенциометр; 11 –реактор).

После получения сорбционных материалов были проведены исследования их структурных характеристик. Удельная поверхность сорбентов определена методом Клячко-Гурвича, объем пор и их распределение по размерам определены методом ртутной порометрии (таблица 1).

Таблица 1 - Структурные характеристики сорбентов

Наименование Сорбента	Удельная поверхность, $м^2/г$	Объем пор, $см^3/г$
Аминокремнеземный сорбент	88	1,45
Гидрофобный фенилсодержащий сорбент	81	1,54

Проведены исследования ИК-спектров полученных композиционных сорбентов на приборе Specord-75 IR. Обнаруженная в спектре полоса поглощения в области 3430 $см^{-1}$ соответствует валентным колебаниям аминогрупп, а уменьшенная полоса поглощения 3750 $см^{-1}$, соответствует свободным гидроксильным группам кремнеземного состава. Полученные данные согласуются с ранее представленными данными в работе [4].

Проведены исследования микроструктуры композиционных сорбентов на сканирующем электронном микроскопе IMZ-T3000 в сравнении с известными кремнеземными материалами, такими как макропористое стекло, силохром С-80 по соответствующей методике [5]. Установлено, что микроструктура сорбентов представлена сочетанием поверхностных участков аморфных образований с губчатой структурой

Проведенные исследования спектров диффузного отражения фенил-содержащих сорбционных материалов по сравнению с аэросилом А-380 показали, что наличие органической функциональной группы в составе сорбентов не приводит к резкому увеличению интенсивности поглощения, наблюдается выравненность спектров диффузного отражения.

Полученные сорбционные материалы были использованы для отделения белков из молочной сыворотки и создании на ее основе биорегулятора применяемого для предпосевной обработки семян зерновых культур.

Методика приготовления препаратов была следующая: лиофильную сыворотку разводили щелочной фракцией электроактивированной воды (католит) в соотношении 1:10, затем добавляли 1 г сорбента, выдерживали в течение 30 минут с последующим отделением

белкового осадка методом фильтрации. Активность разработанных сорбентов позволяет осуществлять более 75% отделение белковой фракции молочной сыворотки.

В полученных препаратах проводили замачивание семян. Для определения параметров посевных качеств семян использовали методику ГОСТа 12038-84.

Полученные данные (таблица 2) свидетельствуют о том, что препараты, полученные на основе сорбционных методов отделения белка из лиофилизированной молочной сыворотки гидрофобным сорбентом и в большей степени аминокремнеземным, обладают ростостимулирующей активностью.

Таблица 2- Ростостимулирующая активность препаратов на основе сорбционной очистки лиофильной молочной сыворотки

Наименование вариантов	Посевные качества		Ростостимулирующая активность			
	Энергия прорастания, в %	Лабораторная всхожесть, в %	Длина корешка, см	Длина проростка, см	Масса корешка, г	Масса проростка, г
Контроль	90	91	5,60±0,28	5,00±0,25	2,80±0,14	3,20±0,16
Католит	96	98	6,86±0,34	6,80±0,30	3,40±0,17	3,78±0,18
Лиофильная молочная сыворотка + католит	96	97	7,40±0,37	6,80±0,34	3,58±0,10	4,10±0,20
Препарат, полученный на основе сорбции аминокремнеземным сорбентом	95	97	7,50±0,33	6,85±0,32	3,62±0,18	4,12±0,18
Препарат, полученный на основе сорбции гидрофобным сорбентом	96	98	7,61±0,38	6,91±0,30	3,68±0,12	4,22±0,21

Практическая направленность органокремнеземных сорбентов определяется эффективностью их использования при получении биопрепаратов с ростостимулирующей активностью и является перспективных направлений сельскохозяйственной биотехнологии.

Список литературы

1. *Белик Е.В*. Получение и исследование биологически активных органо-кремнеземных полимерных композиций, применяемых для аппликаци-онной сорбции./ Е. В. Белик, А. В. Брыкалов, Ф. А. Бостанова // Хими-ческие волокна. – 2008. – №5. – С. 36-37.

2. *Брыкалов А.В.* Сорбенты на основе кремнеземов и активированных углей в биотехнологии и медицине // Матер. конф. химиков Сев. Кавказа. – Нальчик, 1991. – С. 185-186.

3. *Шипуля А.Н., Дергунова Е.В., Романенко Е.С.* / Использование метода молекулярного наслаивания для получения элементсодержащих сорбентов // Инноватика – 2011: материалы Междунар. конф.- Ульяновск, 2011. – С. 148-150.

4. *Брыкалов А.В., Плющ Е.В.* / Синтез и исследование сорбентов с ионообменными и гидрофобными свойствами // Успехи современного естествознания. – 2004. - № 7. – С. 42-42.

5. *Фрайфельдер Я.* Физическая химия. – М.: Мир, 1980. – 418 с.

02.00.06

А.А. Савченко

Донской государственный технический университет,
кафедра сопротивления материалов,
Ростов-на-Дону, flash20002006@rambler.ru

КОНЦЕНТРАЦИЯ НАПРЯЖЕНИЙ В ВЯЗКОУПРУГОЙ ПОЛИМЕРНОЙ ПЛАСТИНКЕ С ОТВЕРСТИЕМ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-4-44-47

Приведена методика расчета концентрации напряжений при помощи метода конечных элементов с учетом вязкоупругих свойств материала. Рассмотрена задача растяжения полосы с отверстием из полиметилметакрилата. Установлено, что в конце процесса ползучести происходит возврат к упругому решению.

Ключевые слова: *полимерная пластинка, вязкоупругость, концентрация напряжений.*

Одной из основных областей применения полимерных материалов является строительство. Листовые материалы из полимеров широко используются в качестве заполнения световых проемов, при производстве стеклопакетов, сооружении оранжерей, теплиц, в качестве наружного ограждения балконов и лоджий и т.д. Наибольшей популярностью на современном отечественном рынке листовых полимеров пользуются листовые стекла из полиметилметакрилата (оргстекла).

Для полимерных материалов помимо упругих свойств характерна явно выраженная реология, поэтому для адекватного описания напряженно-деформированного состояния необходимо привлекать аппарат теории ползучести.

Задача о концентрации напряжений вблизи отверстия, имея большое практическое значение, хорошо изучена в упругой стадии, однако по учету в данной задаче ползучести материала в литературе практически отсутствуют публикации за исключением [1].

В настоящей статье будет рассмотрена методика расчета концентрации напряжений с учетом вязкоупругих свойств материала. Для решения будем использовать треугольные конечные элементы (рис. 1) с двумя степенями свободы в узле. Перемещения u и v в пределах элемента будем аппроксимировать линейными функциями:

$$u = N_1 u_1 + N_2 u_2 + N_3 u_3; \quad v = N_1 v_1 + N_2 v_2 + N_3 v_3, \tag{1}$$

где $N_i = \frac{1}{2A}(a_i + b_i x + c_i y)$, $i = 1...3$, A – площадь конечного элемента, $a_1 = x_2 y_3 - x_3 y_2$, $b_1 = y_2 - y_3$, $c_1 = x_3 - x_2$.

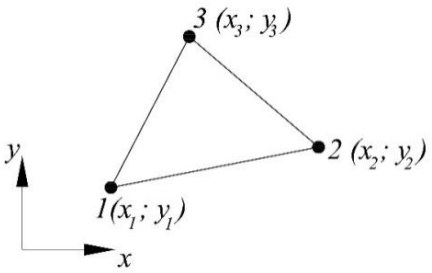


Рис. 1. Треугольный конечный элемент плоской задачи

Остальные коэффициенты a_i, b_i, c_i определяются путем циклической замены индексов 1→2→3→1.

Связь между деформациями и перемещениями для плоской задачи теории упругости записывается в виде:

$$\{\varepsilon\} = \{\varepsilon_x \quad \varepsilon_y \quad \gamma_{xy}\}^T = \left\{\frac{\partial u}{\partial x} \quad \frac{\partial v}{\partial y} \quad \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x}\right\}^T. \tag{2}$$

Подставив (1) в (2), получим:

$$\{\varepsilon\} = \frac{1}{2A}\begin{bmatrix} b_1 & 0 & b_2 & 0 & b_3 & 0 \\ 0 & c_1 & 0 & c_2 & 0 & c_3 \\ c_1 & b_1 & c_2 & b_2 & c_3 & b_3 \end{bmatrix}\{u_1 \quad v_1 \quad u_2 \quad v_2 \quad u_3 \quad v_3\}^T = [B]\{U\}. \quad (3)$$

Потенциальная энергия деформации (ПЭД) пластинки в случае плоского напряженного состояния определяется следующим образом:

$$\Pi = \frac{1}{2}\int_V \{\sigma\}^T \{\varepsilon^{el}\} dV, \quad (4)$$

где $\{\sigma\}^T = \{\sigma_x \quad \sigma_y \quad \tau_{xy}\}$ – вектор напряжений, $\{\varepsilon^{el}\}$ – вектор упругих деформаций, которые представляют разность между полными деформациями и высокоэластическими деформациями:

$$\{\varepsilon^{el}\} = \{\varepsilon\} - \{\varepsilon^*\}, \quad (5)$$

где $\{\varepsilon^*\} = \{\varepsilon_x^* \quad \varepsilon_y^* \quad \gamma_{xy}^*\}^T$.

Связь между напряжениями и деформациями с учетом вязкоупругих свойств материала записывается в виде:

$$\{\sigma\} = [D]\left(\{\varepsilon\} - \{\varepsilon^*\}\right), \quad (6)$$

где $[D] = \frac{E}{1-\nu^2}\begin{bmatrix} 1 & \nu & 0 \\ \nu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & (1-\nu)/2 \end{bmatrix}$ – матрица упругих постоянных.

С учетом (6) и (3) ПЭД примет вид:

$$\Pi = \frac{1}{2}hA\left(\{U\}^T [B]^T [D][B]\{U\} - 2\{U\}^T [B]^T [D]\{\varepsilon^*\} + \{\varepsilon^*\}^T [D]\{\varepsilon^*\}\right). \quad (7)$$

Систему разрешающих уравнений получим, применив принцип минимума полной энергии, представляющей разность между потенциальной энергией деформации и работой внешних сил. Дифференцируя ПЭД по вектору узловых перемещений, получим:

$$\frac{\partial \Pi}{\partial \{U\}} = [K]\{U\} - \{F^*\}, \quad (8)$$

где $[K] = hA[B]^T [D][B]$, $\{F^*\} = hA[B]^T [D]\{\varepsilon^*\}$.

Окончательно система разрешающих уравнений принимает вид:

$$[K]\{U\} = \{F\} + \{F^*\}. \quad (9)$$

Здесь матрица $[K]$ представляет собой матрицу жесткости, $\{F\}$ – вектор внешних узловых сил, $\{F^*\}$ – вектор дополнительных фиктивных узловых сил, обусловленных ползучестью.

Была решена тестовая задача для квадратной пластинки из полиметилметакрилата (ПММА) размерами 8х8 см с отверстием радиусом 1 см. Пластинка в направлении *x* растягивается нагрузкой $q = 6$ МН/м^2. В силу симметрии рассматривалась четверть пластины.

В качестве закона ползучести использовалось нелинейное уравнение Максвелла-Гуревича, имеющее в случае плоского напряженного состояния вид [2,3]:

$$\frac{\partial \varepsilon_{ij}^*}{\partial t} = \frac{f_{ij}^*}{\eta^*}, \quad i = x, y, \quad j = x, y, \quad (10)$$

где f_{ij}^* – функция напряжений, η^* – релаксационная вязкость.

$$f_{ij}^* = \frac{3}{2}\left(\sigma_{ij} - p\delta_{ij}\right) - E_\infty \varepsilon_{ij}^*; \quad \frac{1}{\eta^*} = \frac{1}{\eta_0^*}\exp\left(\left|f_{\max}^*\right| / m^*\right), \quad (11)$$

где $p = (\sigma_x + \sigma_y)/3$ – среднее напряжение, δ_{ij} – символ Кронекера, E_∞ – модуль высокоэластичности, η_0^* – начальная релаксационная вязкость, m^* – модуль скорости.

Расчет выполнялся при E = 2940 МПа, E_∞ = 2500 МПа, m* = 4.5 МПа, $\eta_0^* = 10^{10}$ МПа·с. При расчете использовалось неравномерное разбиение со сгущением сетки у отверстия.

На рис. 2-4 показано изменение во времени максимальных значений напряжений σ_x, σ_y и τ_{xy}. Из представленных графиков видно, что напряжения сначала убывают, а потом возрастают. В конце процесса ползучести происходит возврат к упругому решению.

Объясняется данный эффект тем, что основное разрешающее уравнение плоской задачи теории упругости для пластинки из изотропного материала имеет вид:

$$\nabla^2\nabla^2\varphi = 0, \tag{13}$$

где φ – функция напряжений, определяемая по формулам:

$$\sigma_x = \frac{\partial^2\varphi}{\partial y^2};\ \sigma_y = \frac{\partial^2\varphi}{\partial x^2};\ \tau_{xy} = -\frac{\partial^2\varphi}{\partial x\partial y} - Xy - Yx, \tag{14}$$

где X и Y – компоненты объемных сил.

Для получения решения в конце процесса ползучести, достаточно во всех уравнениях для упругой задачи заменить мгновенный модуль упругости и коэффициент Пуассона на длительный [4,5]. В уравнение (14) не входят упругие постоянные, следовательно, распределение напряжений в начале и в конце процесса ползучести зависит только от граничных условий на контуре.

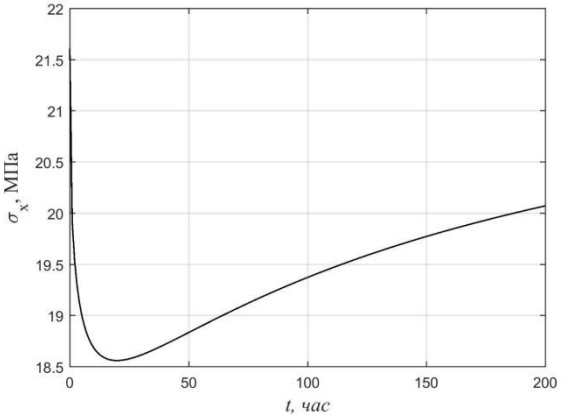


Рис. 2. Изменение во времени наибольшей величины напряжений σ_x

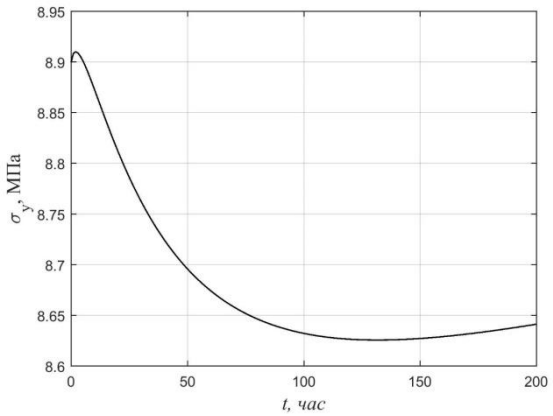


Рис. 3. Изменение во времени наибольшей величины напряжений σ_y

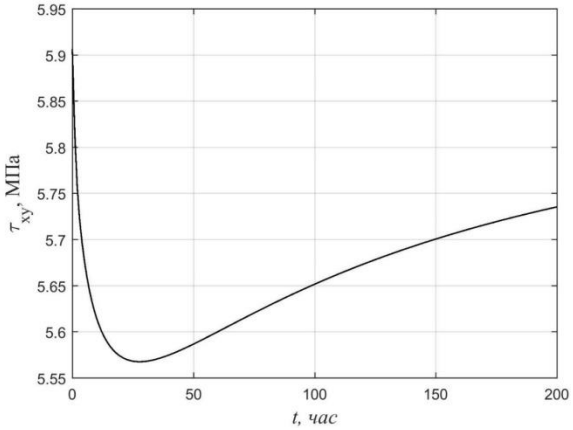


Рис. 4. Изменение во времени наибольших касательных напряжений

Список литературы

1. *Горохов А.Ю., Труфанов Н.А*. О перераспределении напряжений в ортотропной вязкоупругой пластинке в окрестности круглого включения // Вестник ПНИПУ. Механика. 2011. №1. С. 170-182.

2. *Andreev V.I., Yazyev B.M., Chepurnenko A.S.* On the bending of a thin plate at nonlinear creep // Advanced Materials Research. 2014. Т. 900. С. 707-710.

3. *Козельская М.Ю., Чепурненко А.С., Литвинов С.В.* Расчет на устойчивость сжатых полимерных стержней с учетом температурных воздействий и высокоэластических деформаций // Научно-технический вестник Поволжья. 2013. № 4. С. 190-194.

4. *Дудник А.Е., Чепурненко А.С., Никора Н.И.* Плоская осесимметричная задача термовязкоупругости для полимерного цилиндра // Инженерный вестник Дона. 2015. Т. 34. № 1-2. URL: http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1p2y2015/2816

5. *Литвинов С.В., Данилова-Волковская Г.М., Дудник А.Е., Чепурненко А.С.* Напряженно-деформированное состояние многослойных полимерных труб с учетом ползучести материала // Современная наука и инновации. 2015. № 3 (11). С. 71-78.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ (05.02.00)

05.02.00

Аббаварам Ревант Редди, В.Г. Нестеренко к.т.н.

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

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТРУБЧАТЫХ ВОЗДУХО - ВОЗДУШНЫХ ТЕПЛООБМЕННИКОВ, УСТАНАВЛИВАЕМЫХ В СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ И ПЕРСПЕКТИВНЫХ ТУРБИН ГТД

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-4-48-50

Рассмотрены результаты исследований трубчатых воздухо-воздушных теплообменников (ВВТ), применяемых в системах охлаждения турбин современных и перспективных авиационных газотурбинных двигателей (ГТД), установленных в его наружном контуре. Представлены рекомендации по повышению их эффективности.

Ключевые слова: *охлаждаемые лопатки турбин, кольцевые турбулизаторы, интенсивность охлаждения, коэффициент теплопередачи, эффективность системы воздушного охлаждения.*

Тенденции развития современных авиационных двигателей гражданского и военного назначения направлены по пути форсирования основных рабочих параметров термодинамического цикла: степени повышения давления воздуха в компрессоре $\pi^*_к$, температуры воздуха за компрессором $T_2^*{}_к$, и температуры газа на выходе из основной камеры сгорания перед турбиной $T_3^*{}_г$.

Повышение эффективности системы охлаждения узлов и деталей современных и перспективных высокотемпературных газовых турбин актуально и является одной из наиболее важных задач, решение которой во многом обеспечивает перспективное развитие современных и перспективных авиационных двигателей.

Решение этой комплексной задачи может достигаться, в частности, применением воздухо-воздушного теплообменника (ВВТ), см. Рис.1, установленного в наружном контуре двухконтурного авиационного ГТД, в котором снижается температура охлаждающего воздуха, отбираемого от компрессора. Целью данной работы является разработка рекомендаций по увеличению интенсивности охлаждения ВВТ и снижению их аэродинамического сопротивления. Рассмотрим результаты поверочного расчёта теплообменника, показанного на Рис.1, который в настоящее время применяется на ряде отечественных ГТД.

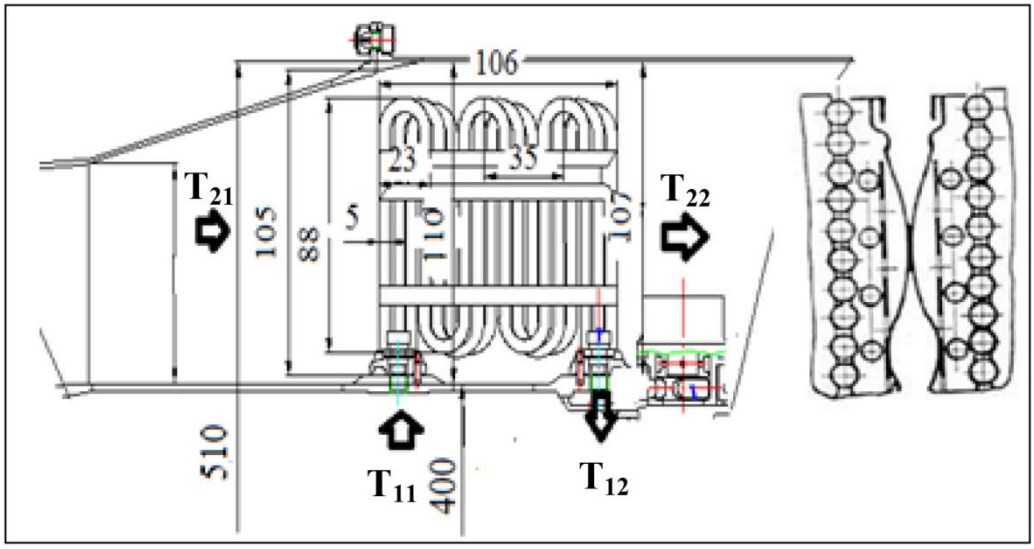


Рис. 1. Компоновка ВВТ в наружном контуре ГТД

Его конструктивно-геометрические характеристики: число трубчатых модулей, состоящих из двухрядных пучков трубок диаметром 5 мм и толщиной стенок 0,3 мм, равномерно расположенных по окружности кольцевого кожуха, N_m = 64; количество трубок в одном модуле - N_{m1} = 6; общее количество трубок - N_Σ = 384;- длина одной трубки (в развертке) - l_1 = 679 мм. Режимные параметры по греющему воздуху - расход G_1 = 6.45 кг/с; давление на входе в ВВТ P_{11} = 23 бар; температура на входе T_{11} = 774 К. По нагреваемому воздуху, который охлаждает внутренний воздух ВВТ, - расход G_2 = 40 кг/с; давление перед ВВТ P_{21} = 3.66 бар; температура T_{21} = 438 К. Первоначально был выполнен расчет теплоотдачи между трубками при поперечном их обтекании в наружном контуре, величина среднего коэффициента теплоотдачи в межтрубном пространстве α_2=1002 Вт/м^{2}К. Величина среднего коэффициента теплоотдачи внутри труб при турбулентном режиме течения воздуха α_2=2020 Вт/м^{2}К. Теплопередача в модуле ВВТ определяется значением коэффициента теплопередачи K_{out}= 634.5 Вт/м^{2}К.

Определяем конечные температуры греющего и нагреваемого воздуха на выходе из модуля ВВТ, используя параметр NTU [1], определяющий число единиц переноса теплоты (number of heat transfer units):

$$\mathrm{NTU} = \frac{\mathrm{K}\cdot\mathrm{F_{sahe}}}{\mathrm{C_{min}}} \qquad (1)$$

где: K – коэффициент теплопередачи, Вт/м^{2}К; F_{sahe} – площадь поверхности теплообмена (surface area of the heat exchange, м^2); C_{min} - полная расходная теплоемкость теплоносителя, вычисляемая как произведение расхода теплоносителя на его удельную теплоемкость ($C=G\cdot c_p$). Значение NTU_1 для ВВТ как охладителя равняется 0,372, а при работе как нагревателя 0,064. Далее, определяем температуру воздуха на выходе охлаждённого воздуха из ВВТ, T_{12} = 673К, и подогретого после ВВТ воздуха наружного контура T_{22} = 442 К. Результаты испытаний показали, что величина T_{12} = 665 К, а T_{22} = 448 К, т.е. имеется хорошее совпадение расчётных и экспериментальных данных.

Для двигателей новых поколений температура газа перед турбиной должна быть повышена примерно до 1800 К, т.е. увеличена на 160°. Выполненные расчёты показали, что это может быть обеспечено, при неизменной интенсивности охлаждения лопатки турбины, θ = 0,63, в том случае, если дополнительно снизить температуру охлаждающего воздуха в ВВТ примерно на 100°. С этой целью выполнен проектировочный расчёт ВВТ, по использованной выше методике, исходные данные которого представлены в предыдущем расчёте. Определялась необходимая длина трубок ВВТ, при условии снижения температуры воздуха на выходе, равном 230°, т.е. с небольшим запасом. В результате этого расчёта получено, что необходимая длина развёрнутой трубки нового ВВТ равняется 1500 мм, т.е. она должна быть увеличена примерно в два раза по сравнению с исходным вариантом.

Следует отметить также, что в турбинах новых поколений приходится увеличивать количество воздуха, отбираемого на охлаждение их сопловых и рабочих лопаток. Пропускную способность ВВТ проще всего увеличить за счёт роста наружного диаметра трубок. В Таблице 1 представлены результаты расчётов изменения температуры воздуха на выходе из ВВТ при различных диаметральных размерах трубок от 4-х до 6-ти мм. При выполнении расчётов использовались программы ANSYS CFX: принят одинаковый перепад давления от входа к выходу воздуха из трубки, т.е. скорость охлаждаемого воздуха в трубке сохранялась постоянной, а его расход изменялся.

Таблица 1 - Температурное состояние горячего воздуха на выходе из одиночной трубы

Длина трубки мм	Температура воздуха на выходе из ВВТ [K]			
	Цилиндр Ø = 6 мм	Цилиндр Ø = 5 мм	Цилиндр Ø = 4 мм	Цилиндр Ø = 6 мм с турбулизатором
110	779	781	782	760
500	732	720	701	650
800	710	696	672	-
1200	685	671	640	-
1500	660	-	-	

Как видно из данных таблицы 1, трубки с малым диаметром прогреваются немного быстрее, но их требуется большее количество, для одного и того же расхода охлаждающего воздуха.

В последней графе таблицы 1 представлен результат расчёта влияния кольцевых стабилизаторов на интенсификацию теплообмена внутри трубок, выполненного в системе ANSYS CFX [2, 3]. Эти результаты получены для их оптимальных конструктивных параметров [2], которые взяты при значениях (d/D) = 0.93 и (t/D) = 0,5. Это соответствует следующим реальным размерам трубок с турбулизаторами: $d_{вн}$= 5,6 мм ; $D_{нар}$= 6,0 мм, т.е. высота выступа на внутренней поверхности трубки равна 0,2 мм, а шаг между ними составляет 3,0 мм. Как видно из результатов расчётов, турбулизаторы эффективны, однако выполнение накаток на большой длине тонкостенных трубок малого диаметра требует разработки специальной технологии.

При установке ВВТ в наружном контуре ГТД необходимо обеспечить минимум аэродинамических потерь, связанных с дополнительными потерями давления воздуха из-за гидравлического сопротивления цилиндрических трубок ВВТ. Рассмотрены характеристики ВВТ, трубки которого имеют овальную форму, с соотношением внутренних осей 7,3х 4,0 мм, их площадь равна площади цилиндрической трубке с диаметральным размером 6,0 мм. Аэродинамическое сопротивление этого ВВТ уменьшается примерно вдвое, а уровень теплопередачи сохраняется практически неизменным. Аналогичные результаты исследований получены в [4]. Таким образом, можно вполне обоснованно рекомендовать рассмотренные конструктивные способы повышения эффективности трубчатых ВВТ к их практическому использованию.

Список литературы

1. *F. P. Incropera, , A .S. Lavine and D. P. De Witt*, Fundamentals of Heat and Mass Transfer, 6-th edition. John Wiley & Sons, 2007. – 997 С.

2. *Калинин Э.К.* Эффективные поверхности теплообмена. М.: Энергоатомиздат, 1998. - 408 С.

3. *Нестеренко В. Г, Ревант Редди А*. Improvement of the design and methods of designing tubular air-to-air heat exchangers cooling systems of gas turbines. ICAS 2016.

4. *Ala Ali Hasan.* Thermal-hydraulic performance of oval tubes in a cross-flow of air. Heat and Mass Transfer, June 2005, volume 41, issue 8, pp 724-733.

05.02.00

Н.Д. Ахметов, В.Н. Друлис, Т.В. Рзаева, А.Г. Коробова, Л.Н. Валиахметова

Казанский (Приволжский) федеральный университет,
Набережночелнинский институт (филиал),
Кафедра механики и конструирования,
Набережные Челны, nailahmat@yandex.ru

РОЛЬ НАЧЕРТАТЕЛЬНОЙ ГЕОМЕТРИИ В ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПОДГОТОВКЕ СПЕЦИАЛИСТА

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-4-51-53

Рассматриваются вопросы профессиональной подготовки специалистов, в частности, место и роль начертательной геометрии при подготовке современного инженера как интеллектуальная, гуманитарная составляющая профессионального образования.

Ключевые слова: *подготовка специалистов, гуманитаризация технического образования, начертательная геометрия.*

Достаточно ощутимое сокращение количества академических часов, отводимых на обучение студентов дисциплинам «Начертательная геометрия» и «Инженерная графика» вызывает у многих недоумение и возмущение [1]. Действительно, многие руководители технических вузов и кафедр, получившие в своё время хорошую инженерную подготовку, не всегда задумываются, каким способом досталось им это «дорогое» умение. И этого умения хотим лишить новое поколение!

Автор первого в России переводного издания известного учебника Гаспара Монжа «Geometrie descriptive» профессор В.И. Курдюмов писал: «Если чертёж является языком техники, одинаково понятным всем образованным народам, то начертательная геометрия служит грамматикою этого мирового языка…» [3]. Получается, что чертёж – это ещё и международный язык инженера. И лишение инженера своего языка невольно напоминает библейскую сказку о строительстве Вавилонской башни, а чем оно закончилось – известно всем.

В последнее десятилетие широко обсуждается проблема графической подготовки студентов, возникли противоречия между традиционной и инновационной методиками преподавания начертательной геометрии и инженерной графики. Начертательную геометрию даже стали относить к ненужным, «умирающим» наукам. На наш взгляд, это происходит, прежде всего, потому, что начертательную геометрию принимают обычно в прикладном значении, как основу освоения студентами дисциплины инженерная графика, и в последующем компьютерной графики. Однако не следует забывать, что начертательная геометрия для будущего инженера нужна и как интеллектуальная, гуманитарная составляющая его профессионального образования, так как такие качества как пространственное воображение и визуальное мышление должны быть свойственны каждому инженеру. Поэтому начертательная геометрия всегда была и должна остаться своего рода «философией» инженерного образования.

Гуманитарная подготовка студентов в теоретическом плане во многом базируется на философии. На развитие философских взглядов, принятых в российской высшей школе, в большей степени оказывала влияние Западная Европа, и в меньшей мере – Восток. Вопрос о необходимости изучения студентами геометрии в вузах, и не только технических, подкрепим некоторыми фактами из истории.

Из многочисленных основателей различных философских школ древней Греции выделим троих: Фалес Милетский, Пифагор Самосский и Платон.

Фалес Милетский (640/624 – 548/545 гг. до н.э.), ему принадлежит, кроме всего прочего, доказательство ряда геометрических теорем, в частности, теоремы Фалеса об отрезках прямых, пересекаемых параллельными прямыми.

Пифагор Самосский (около 570 – около 500 гг. до н.э.) – основатель пифагореизма, первый из мудрецов, который назвал себя «философом». В университете, организованном им в городе Кротон в греческой колонии южной Италии, в основу всей своей философии он положил четыре дисциплины: геометрию, музыку, астрономию и счёт.

Платон (428 или 427 – 348 или 347 гг. до н.э.) – основатель школы (академии) в Афинах, из стен которой вышел и другой известный мыслитель Аристотель. Платон считается одним из основателей математической логики. Особое внимание в своей школе он уделял геометрическим построениям с помощью циркуля и линейки. И что символично, на фасаде его школы существовала надпись: «Да не войдёт сюда не следующий в геометрии» (или по-другому, «Сюда не входит тот, кто пренебрегает геометрией»).

Этими примерами мы хотели показать, что ранние основатели, пусть даже различных философских направлений и взглядов, не мыслили начать «возревать» на мир и изучать его с чего-то другого, кроме как с окружающего их пространства.

Не изменилось отношение философов к геометрии и в средние века. Можно упомянуть философа Р. Декарта или доктора теологии И. Ньютона, докторская диссертация которого на 50 % выполнена с помощью циркуля и линейки. Если кто не верит, рекомендуем заглянуть в VII том трудов академика Алексея Николаевича Крылова, где помещён перевод известных «Математических начал натуральной философии».

Каково отношение к геометрии в наше время? Из вышеприведённых кратких фактов не трудно заключить, что и по настоящее время геометрия должна быть в числе обязательных дисциплин, изучаемых студентами в вузах. Следует заметить, что как только начинаем решать пространственные задачи, без аксонометрического рисунка во многих случаях не обойтись. А аксонометрия – это уже раздел начертательной геометрии. Поэтому с большой уверенностью можно утверждать, что аналитическая геометрия, которая якобы совместно с компьютером может полностью заменить начертательную геометрию, имеет в своей основе начертательную геометрию [5, 6]. Таким образом, начертательная геометрия в большей мере является гуманитарной, чем, например, аналитическая или дифференциальная геометрия, которые преподаются студентам, и не только технических направлений, как разделы высшей математики.

Наконец, кратко остановимся ещё на одном возражении оппонентов, которое вкратце звучит примерно так: «Начертательная геометрия – это анахронизм, и она не имеет будущего». Это во многом связано с внедрением в учебный процесс компьютерной графики и появлением технологии 3D-моделирования. Сторонники такой формулировки чаще всего против использования в практике решения задач и выполнении чертежей (эпюров) циркуля и линейки. Но с другой стороны, сам процесс построения с применением чертёжных инструментов, или по-другому, перцептивные действия воспитывают у будущего инженера столь нужное для него визуальное мышление.

Перцептивные действия – это основные структурные единицы процесса восприятия, обеспечивающие построение предметного образа.

Визуальное мышление – это способ решения интеллектуальных задач с опорой на внутренние визуальные образы: представления, воображения. В развитой форме визуальное мышление характерно для успешных архитекторов и дизайнеров, в том числе и конструкторов. Визуальное мышление проявляется в диагностике и управлении состоянием сложных систем, особенно при выведении их из нештатных режимов работы и аварийных состояний, при принятии стратегических решений, в научной разработке теоретических схем и концепций [2].

Учитывая всё сказанное, можно предположить, что при формировании профессионально значимых знаний, умений и навыков у студентов, в том числе и не технических направлений подготовки, изучение начертательной геометрии является важной задачей. Человек с развитым чувством пространственного воображения и визуальным мышлением всегда будет выделяться среди других. Здесь уместно привести слова того же профессора В.И. Курдюмова: «Без воображения невозможно никакое серьёзное творчество...».

Пространственное воображение нужно, на наш взгляд, не меньше чем инженеру, и хирургу, выполняющему операции на сложном оборудовании с 3-D изображениями на экране, и программисту, создающему свой виртуальный мир, и экономисту, и химику…[4, 7].

Исходя из вышесказанного, можно сделать следующий вывод. К начертательной геометрии следует относиться с уважением, наравне как к философии и всей математике. Поэтому следовало бы пересмотреть отношение к ней, и возможно начать преподавать эту дисциплину в вузе наряду с философией и высшей математикой, может быть и для студентов даже не инженерных направлений подготовки.

Не следует забывать и ещё одно обстоятельство, о котором почему-то предпочитают не говорить вслух: владение методами начертательной геометрии при определённых обстоятельствах – это знания стратегического значения. Напомним, что упомянутый выше учебник Г. Монжа первоначально при Людовике XVI предназначался для герметической элиты (закрытой, секретной).

И всегда должны помнить, особенно в наши дни, что качественное инженерное образование – это залог успешного развития нашей страны.

Список литературы

1. *Ахметов Н.Д., Друлис В.Н., Коробова А.Г., Валиахметова Л.Н.* Проблемы обучения студентов грамматике инженерного языка. // Естественные и технические науки, № 5, 2016. – С. 89-91.

2. Большой психологический словарь. – М.: Прайм-ЕВРОЗНАК. Под ред. Б.Г. Мещерякова, акад. В.П. Зинченко. 2003.

3. *Валериан Иванович Курдюмов*: большая биографическая энциклопедия: URL http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc_biography/66683/

4. *Ищенко А.А.* К вопросу о необходимости преподавания начертательной геометрии и графики для химиков и химиков-технологов [Текст] / А.А. Ищенко // Геометрия и графика. – 2013. – Т. 1. – № 2. – С. 6–7. – DOI: 10.12737/776.

5. *Сальков Н.А.* Начертательная геометрия – база для геометрии аналитической / Н.А. Сальков // Геометрия и графика. 2016. Т. 4. № 1. С. 44–54. – DOI: 10.12737/18057.

6. *Феоктистова Л.А., Талипова И.П., Рзаева Т.В.* К вопросу о связи начертательной геометрии с аналитической геометрией. // Естественные и технические науки, № 11, 2015. – С. 307-310.

7. *Хмарова Л.И.* Формирование и развитие профессиональных навыков студентов в курсе начертательной геометрии / А.Н. Логиновский, Е.А. Усманова, Л.И. Хмарова // Геометрия и графика. 2015. Т. 3. №. 2. С. 46–51. – DOI: 10.12737/12168.

05.02.00

Ле Тиен Зыонг, В.Г. Нестеренко к.т.н.

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),
кафедра 203,
Москва, tienduong86stvn@gmail.com

МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОФИЛЬНОЙ ЧАСТИ БАНДАЖИРОВАННЫХ ЛОПАТОК РОТОРА ТУРБИНЫ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ ГТД

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-4-54-57

Представлена методика проектирования и особенности конструкции профильной части охлаждаемых лопаток ротора турбины высокого давления с бандажными полками, устанавливаемыми в современных и перспективных ГТД наземного и авиационного назначения с целью повышения их экономичности, надёжности и ресурса.

Ключевые слова: *охлаждаемые лопатки турбин, плёночное охлаждение, прочность, ресурс работы, эффективность системы воздушного охлаждения.*

Методика проектирования рабочих лопаток турбин высокого давления (ТВД) без бандажных полок хорошо известна и достаточно подробно описана в технической литературе, например, в [1].

В данной работе в основном рассмотрена методика проектирования и обеспечения прочности собственно профильной части рабочей лопатки ТВД при установке на неё бандажной полки. Эта задача является главной, после её решения далее можно рассматривать другие проблемы, связанные с особенностями проектирования самой бандажной полки и замка лопатки.

Бандажированная лопатка турбины должна проектироваться изначально, поскольку она требует большей несущей способности всех сечений по высоте лопатки, обеспечиваемой, в частности, её более интенсивным охлаждением.

Самая маленькая охлаждаемая бандажированная лопатка, показанная на Рис. 1, имеет высоту пера около 34 мм. Перо лопатки первой ступени турбины ТВД (ТВлД) ТВ 7-117 ещё меньше и равно 20 мм. Очевидно, что в конструкции этой турбины имеются значительные резервы по повышению её КПД, которые можно реализовать при постановке бандажной полки.



Рис. 1. Охлаждаемые рабочие лопатки первых ступеней современных ТВД, лопатки ТВД с бандажными полками - высота пера лопатки $34 \le h \le 70$ мм 1 – бандажная полка

Показанные выше на Рис. 1 бандажированные охлаждаемые лопатки ТВД спроектированы с неохлаждаемой бандажной полкой. Турбины двигателей новых поколений, имеющие большую температуру газа за камерой сгорания, потребовали введения охлаждения бандажной полки. Примером такой конструкции является рабочая лопатка фирмы Роллс-Ройс, установленная на ТРДД RB-211, в которой реализовано конвективное охлаждение бандажной полки [1]. Дальнейшее совершенствование конструкции бандажной полки проводится с учетом возможного улучшения эффективности лабиринтного уплотнения, и повышения эффективности охлаждения, например, введения конвективно-пленочного охлаждения.

Расчет напряженно-деформированного состояния также имеет свои особенности. При проектировании бандажной полки необходимо рассматривать максимальные напряжения изгиба в месте перехода полки в профильную часть пера. Температуры лопатки со стороны спинки и корыта профиля отличаются примерна на 100 градусов. Она выше со стороны корыта, поэтому расчёт максимальных изгибных напряжений надо производить именно на этой стороне полки. На начальном этапе проектирования эту задачу решают в приближённой постановке, исходя из одномерной теории [2].

Рассмотрим достоинства и недостатки конструкций лопаток ТВД с бандажной полкой. Как уже отмечалось, полка позволяет повысить КПД ступени, поскольку на ней устанавливается лабиринтной уплотнение. Ступенчатое лабиринтное уплотнение позволяет уменьшить протечки газа в радиальном зазоре примерно вдвое.

Преимуществом бандажированных лопаток является существенное увеличение их жёсткости, поскольку перо лопатки с бандажной полкой представляет собой балку с защемлёнными концами. Её прогиб под действием газовых нагрузок существенно снижается, что положительно сказывается на запасах прочности, связанных с интенсивностью цикловой нагрузки пера лопатки. Во-вторых, бандажная полка в местах контакта создаёт натяг, вследствие чего из-за повышенного трения обеспечивается конструкционное демпфирование, снижается амплитуда колебаний.

Бандажная полка дополнительно растягивает рабочую лопатку и диск центробежной силой, разгружает рабочую лопатку от кручения, увеличивает её частоту собственных колебаний.

Принципиальным вопросом при проектировании рабочей лопатки ТВД с бандажной полкой является выбор её геометрических размеров и изменение площади поперечных сечений по высоте лопатки, включая величину хорды профиля, величину C_{max} и толщину стенок профиля, а также величину относительного шага решётки по всей высоте лопатки. Выбор этих параметров во многом определяет прочностные и газодинамические характеристик лопаток ТВД.

Рассмотрим геометрические характеристики двух принципиально разных охлаждаемых рабочих лопаток ТВД с бандажной полкой, отличающихся размерами хорды профиля в корне профильной части пера и характером её изменением по высоте лопатки. Эти данные представлены в табл. 1, где лопатка №1 -«узкая», хорда корневого профиля l = 30,5 мм; лопатка №2 – «широкая», широкохордная, хорда корневого профиля l = 40,0 мм.

Как видно из данных Табл. 1, ширина обода диска для лопатки №1может быть меньше примерно на 25%. Однако при этом количество узких лопаток возрастает. Особенно следует обратить внимание на выбор большой величины относительного шага решётки профилей в корне лопатки. Это связано с высокими значениями относительной толщины профиля в корне охлаждаемой лопатки.

Таблица 1- Геометрические характеристики бандажированных лопаток

№ п.п.	$h/_{l\text{ср}}$	Корневое сечение		Периферийное подполочное сечение	
		$t/_l$	$Cmax/_l$	$t/_l$	$Cmax/_l$
1	1,94	0,74	0,30	0,83	0,23
2	1,87	0,625	0,35	0,842	0,256

В настоящее время существует два вида плёночного охлаждения. В одном (тип I) плёночное охлаждение, организуется с помощью большого числа локальных цилиндрических каналов малого диаметра - 0,3…0,5 мм, имеющих в выходном сечении на поверхность пера лопатки расширительную часть. Проблемой такого способа охлаждения является то, что охлаждающий воздух, из-за технологических ограничений, не может быть направлен из этих каналов под малым углом относительно поверхности профиля. Реальная величина этого угла порядка 25…30 градусов. Поэтому в этом случае приходится организовывать достаточно плотную завесу, т.е. использовать большое количество охлаждающего воздуха, часть которого не может принять участие в процессе охлаждения самой поверхности лопатки.

Более экономична и эффективна система щелевого охлаждения (тип II) поверхности лопатки, представленная в [3].

На Рис. 2 представлены результаты прочностных расчетов лопатки турбины размерности и конструкции схожей с лопатками первой ступени турбины ТРДДФ РД 33 и его модификации, РД 33МК. Расчёты на прочность выполнены на максимальном режиме работы ТВД, установленной в ГТД, на режиме H=0, M=0 (вариант проектирования 1), для лопатки, установленной в АД, на режиме H=0, M=0,9 (варианты проектирования 2…5), где: 1 - лопатка без бандажной полки с конвективным охлаждением пера, расчёт на прочность выполнен на режиме работы ТВД в ГТД на режиме H=0, M=0; 2 - лопатка *без бандажной полки*, с конвективным охлаждением пера; 3 - лопатка *с бандажной полкой* и конвективным охлаждением пера; 4 - лопатка с бандажной полкой и пленочным охлаждением (тип I); 5 - лопатка с бандажной полкой и пленочным охлаждением, в подполочном сечении выполнено щелевое охлаждение (тип II).

В заключение представлены две блок-схемы, в которых показано содержание и последовательность работ при разработке конструктивного облика внутренней полости охлаждаемых лопаток ТВД, при условии обеспечения необходимого уровня температур и прочностного состояния пера лопатки (Рис.3) и вариантов проектирования наружных обводов этой лопатки, с учетом последующей разработки технологического процесса и изготовления лопатки (Рис. 4).

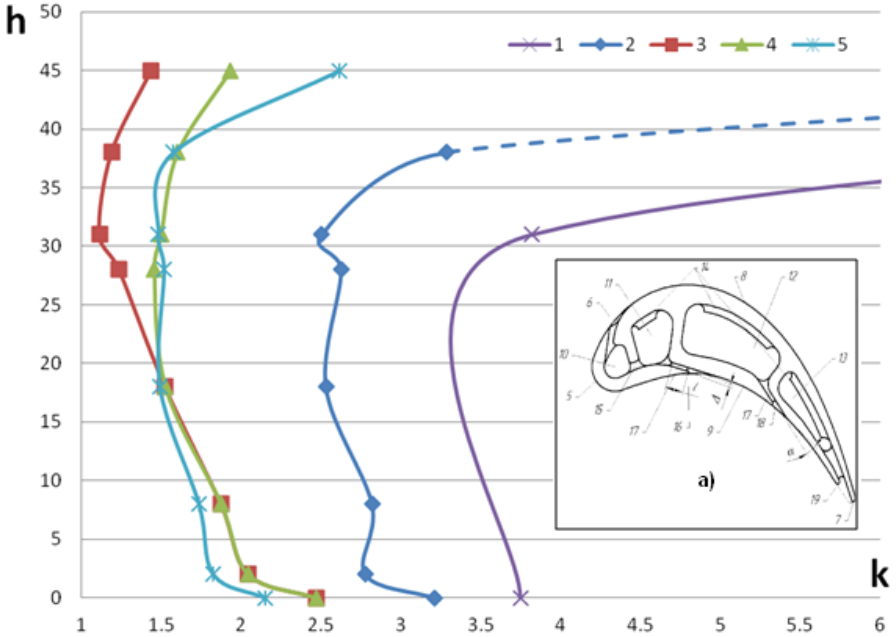


Рис. 2 - Результаты прочностных расчётов и запасы прочности по высоте лопатки рабочего колеса ТВД; а – профиль лопатки с щелевым охлаждением.

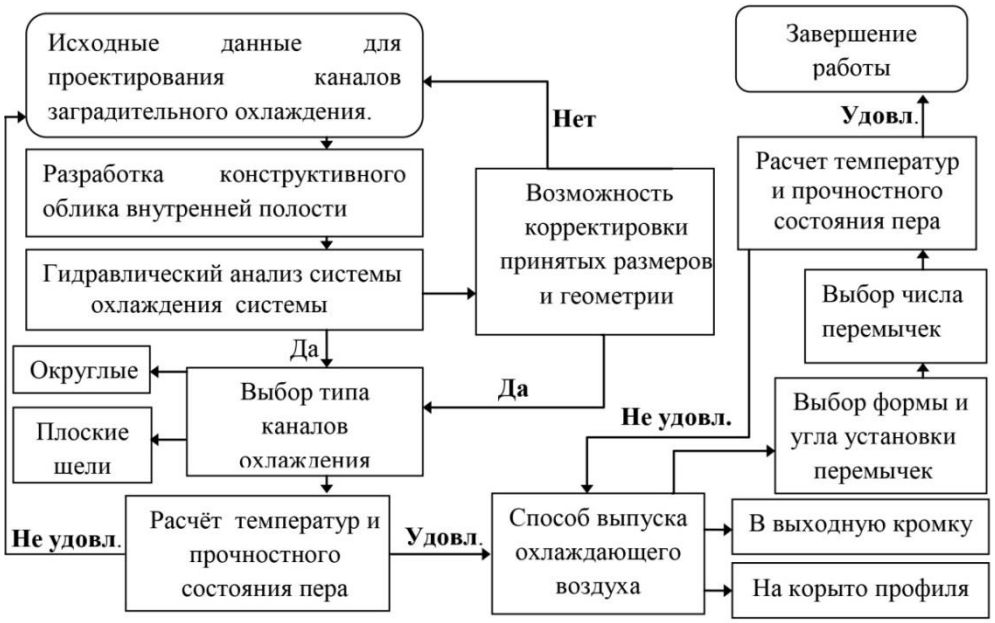


Рис. 3 – Проектирование полости и каналов охлаждения лопатки ротора.

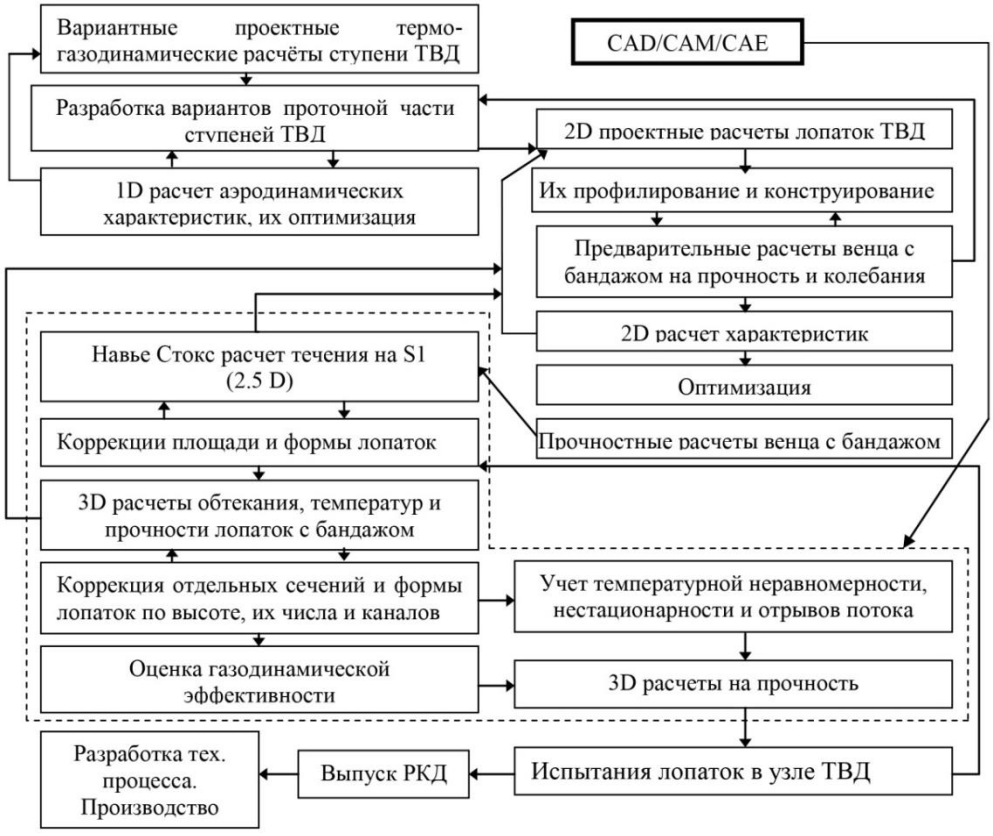


Рис. 4 – Газодинамическое и прочностное проектирование наружных обводов бандажированной лопатки ротораТВД.

Список литературы

1. *Иноземцев А.А*. Основы конструирования авиационных двигателей и энергетических установок: учеб. М.: Машиностроение, 2008- Т.2-368 с.

2. *А.А. Матушкин, В.Г. Нестеренко, В.В. Нестеренко*. Методика проектирования рабочей лопатки турбины высокого давления ГТД с щелевым охлаждением. Научно-технический вестник Поволжья №6 2012. С. 307-310.

3. *А.А. Матушкин, В.Г. Нестеренко, Равикович Ю. А.* Патент на полезную модель № 125256 «Полая охлаждаемая лопатка турбины», 2013.

05.02.02

Н.Г. Фетисова, А.П. Буйносов д.т.н.

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

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛ ЛИНЕЙНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ПОЕЗДА

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-4-58-61

В статье выведены уравнения и приведены результаты определения сил, действующих на контуры в зависимости от времени линейного асинхронного двигателя при движении высокоскоростного поезда.

Ключевые слова: *поезд, высокоскоростной, двигатель, линейный, контур, сила, время, зависимость, уравнения, результаты*.

В поездах, которые движутся, используя принцип магнитной левитации, обычно применяются линейные двигатели с развернутым статором. Статорная обмотка (система тяговых контуров) создает бегущую волну магнитного поля, которая, взаимодействуя с магнитами на составе, создает силу тяги и торможения. Использование линейного асинхронного двигателя позволяет создать систему тяги поездов с электродинамической подъемной силой. Статорная обмотка (система тяговых контуров) создает бегущую волну магнитного поля, которая, взаимодействуя с магнитами на составе, создает силу тяги и торможения. Зазор между поездом и путевыми обмотками в таком варианте значительно больше, чем для электромагнитного подвеса, и составляет около 0,2 м.

Примем, что устройство пути создает внешнее магнитное поле, представляющее собой бегущую вдоль пути волну с фиксированной длиной волны λ и частотой колебания ω, которую может изменять оператор [1]. Также примем, что вектор магнитного поля в любой точке изменяется по гармоническому закону и перпендикулярен плоскости движения контуров.

На рис. 1 представлена простая модель с одним контуром, который может двигаться только вдоль оси *X*. Пусть магнитная индукция в плоскости контура будет иметь лишь перпендикулярную его плоскости проекцию, независящую от *Z*: $\vec{B}(x,y,z,t)=\vec{B}(x,0,z,t)=B_y(x,t)\vec{j}$. На рис. 1 представлены расположение и график поля при $t = 0$.

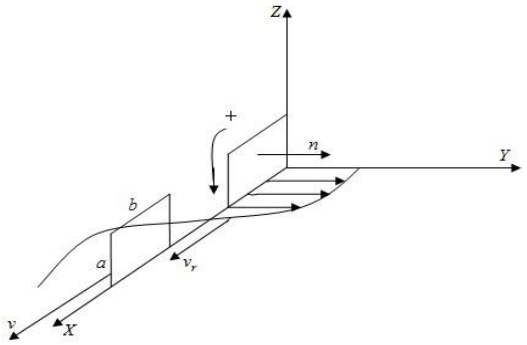


Рис. 1. Модель движения контуров в магнитном поле

Пусть поле в начальный момент представляет гармоническое колебание при движении вдоль оси *X* (длина волны λ·определяется расположением статорных обмоток в стенках пути)

$$B_Y(x,0)=B_0\cdot\cos\left[2\cdot\frac{\pi}{\lambda}\cdot x\right]. \quad (1)$$

Формула для «бегущей» со скоростью v_r волны (т. е. формула для момента *t*) получается сдвигом этого графика на величину $v_r \cdot t$

$$B_Y(x,t) = B_0 \cdot \cos\left[2 \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot (x - v_r \cdot t)\right] = B_0 \cdot \cos\left[2 \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot x - 2 \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot v_r \cdot t\right] = B_0 \cdot \cos\left(2 \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot x - \omega \cdot t\right). \quad (2)$$

Обозначим коэффициент перед t как ω, так как по определению это и есть круговая частота. Таким образом, для получения «бегущей» со скоростью $v_r = \frac{\lambda}{2\pi} \cdot \omega$ волны в каждой точке x должно происходить гармоническое колебание с частотой ω, но колебания в разных точках отличаются по фазе. Сдвиг фаз с началом координат равен $\frac{2\pi \cdot x}{\lambda}$, т. е. пропорционален x (на каждом шаге пути длиной в λ набегает фаза 2π). Для ориентации в порядках величин найдем скорость волны в типичном примере: пусть длина бегущей волны $\lambda = 3 \cdot i$ (размер трехфазного статорного блока), частота $\nu = 50$ Гц, круговая частота $\omega = 2 \cdot \pi \cdot \nu$. Тогда для скорости волны v_r получим $v_r = \lambda \cdot \nu$. Для нашего выбора $v_r = 150$ м/с = 540 км/ч.

Перепишем формулу (2) в более привычной форме:

$$B_Y(x,t) = B_0 \cdot \cos\left(\omega \cdot t - 2 \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot x\right). \quad (3)$$

Теперь рассмотрим взаимодействие рамки и бегущей волны. Пусть рамка движется со скорость $v(t)$ и ее начальное положение (при $t = 0$) таково, что одна из ее вертикальных сторон совпадает с осью Z, а другая при этом будет иметь X-координату равную a. При произвольном движении рамки координаты будут соответственно $x(t) = \int_0^t v(t)dt$ и $x(t)+a$.

Поток вектора магнитной индукции поля через плоскость рамки вычисляеься как

$$\Phi(x(t), y(t), z(t), t) = \int_{x(t)}^{x(t)+a} \int_{z(t)}^{z(t)+H} B_y(x', y(t), z', t)dz'dx', \quad (4)$$

где $x(t)$, $y(t)$ и $z(t)$ – координата ближайшего к началу координат нижнего угла рамки в зависимости от времени, a – длина рамки, H – высота рамки.

Для нашего случая рамки расположенной при $y = 0$ и поля волны не зависящей от z поток можно записать в более простом виде

$$\Phi(t) = \int_{x(t)}^{x(t)+a} B(x', t)Hdx', \quad (5)$$

где Hdx' – площадь элемента рамки с координатой x'. Для однозначности знаков потока и тока рамки выберем вектор ее площади $\vec{n}$ равным $\vec{j}$. Положительное направление тока в контуре будет однозначно определено по правилу буравчика (см. рис. 1).

Рассмотрим сначала случай, когда поезд движется равномерно, т. е. $v_0 = \text{Const}$

$$\Phi(t) = \int_{v_0 t}^{v_0 t + a} B(t,x)Hdx = \int_{v_0 t}^{v_0 t + a} B_0 \cos(\omega t - \frac{2\pi \cdot x}{\lambda})Hdx = -\frac{\lambda \cdot B_0 \cdot H}{2\pi}\left[\sin\left[\omega t - \frac{2\pi \cdot (v_0 \cdot t + a)}{\lambda}\right] - \sin\left(\omega t - \frac{2\pi \cdot v_0 \cdot t}{\lambda}\right)\right] =$$

$$= -\frac{\lambda \cdot B_0 \cdot H}{2\pi}\left[\sin\left[\left(\omega - \frac{2\pi \cdot v_0}{\lambda}\right)t - \frac{2\pi \cdot a}{\lambda}\right] - \sin\left[\left(\omega - \frac{2\pi \cdot v_0}{\lambda}\right) \cdot t\right]\right]. \quad (6)$$

Поток меняющейся с частотой, соответствующей относительной скорости поля и контура

$$w = \omega \cdot \frac{2\pi \cdot v_0}{\lambda} \quad (7)$$

будем называть ее относительной частотой.

Используя известные из тригонометрии выражения [2], упростим выражение (6) для потока

$$\Phi(t) = \frac{\lambda \cdot B_0 \cdot H}{\pi} \cdot \sin(\frac{\pi \cdot a}{\lambda}) \cdot \cos(wt\,\frac{\pi \cdot a}{\lambda}) \cdot \quad (8)$$

Видно, что максимальная амплитуда потока будет для $a = \lambda/2$. Тогда для потока будем иметь:

$$\Phi(t) = \frac{\lambda \cdot B_0 \cdot H}{\pi} \sin(wt) = \Phi_0 \cdot \sin(wt). \quad (9)$$

Рассмотрим силу Лоренца и результирующую сила, действующую на рамку [3]. Известно, что сила Лоренца находится по формуле

$$\vec{F}(t) = \oint i(t) \cdot [d\vec{l} \cdot \vec{B}], \quad (10)$$

Векторное произведение расписывается:

$$\begin{pmatrix} i & j & k \\ dlx & dly & dlz \\ B_x & B_y & B_z \end{pmatrix} = \vec{i} \cdot (dly \cdot B_z - dlz \cdot B_y) + \vec{j} \cdot (dlz \cdot B_x - dlx \cdot B_z) + \vec{k} \cdot (dlx \cdot B_y - dly \cdot B_x) \cdot \quad (11)$$

Нас интересует проекция силы вдоль оси *X*, она связана с вектором *i*. Имеем:

$$F_x(t) = \oint i(t) \cdot [dl_y \cdot B_z - dl_z \cdot B_y], \quad (12)$$

С учетом допущения, что контур находится только в плоскости *X*0*Z*, получаем $dl_y = 0$. Суммарная сила будет складываться из двух интегралов по вертикальным стойкам рамки

$$F_x(t) = i(t) \cdot \int_{z(t)}^{z(t)+H} [B_y(x(t)+a, 0, z') - B_y(x(t), 0, z')] dz'. \quad (13)$$

Формула (13) является общей для силы, возникающей от бегущей волны. Если принять допущение, что волна магнитной индукции статорной обмотки имеет вид гармонического колебания и она не зависит от *z*, то силу можно записать так:

$$F(t) = i(t) \cdot H \cdot B_0 \cdot [\cos(\omega t - \frac{2 \cdot \pi}{\lambda}(x(t) + a)) - \cos(\omega t - \frac{2 \cdot \pi}{\lambda} x(t))]. \quad (14)$$

Применим известное из тригонометрии преобразование [2], получим

$$F(t) = 2 \cdot i(t) \cdot H \cdot B_0 \cdot \sin(\frac{\omega t - \frac{2 \cdot \pi}{\lambda} x(t) - \frac{2 \cdot \pi}{\lambda} a + \omega t - \frac{2 \cdot \pi}{\lambda} x(t)}{2}) \times$$
$$\times \sin(\frac{\omega t - \frac{2 \cdot \pi}{\lambda} x(t) - \omega t + \frac{2 \cdot \pi}{\lambda} x(t) + \frac{2 \cdot \pi}{\lambda} a}{2}) = 2 \cdot i(t) \cdot H \cdot B_0 \cdot \sin(\frac{\pi}{\lambda} a) \sin(\omega t - \frac{2 \cdot \pi}{\lambda} x(t) - \frac{\pi}{\lambda} a). \quad (15)$$

С аналитическим решением уравнений возникают определенные трудности, связанные с тем, что неизвестная в функции справа задана нелинейно. Решим уравнения численно, используя программу Mathcad, и результат представим в виде графиков сил в зависимости от времени (рис. 2 и 3). При решении использовались параметры: a = 1 м; H = 0,5 м; B_0 = 0,1 Тл; v = 60 Гц; v_r = 60 м/сек; b =0,1.

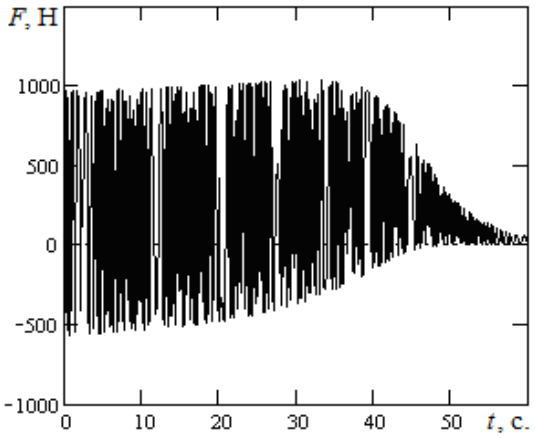


Рис. 2. Сила, действующая на рамку

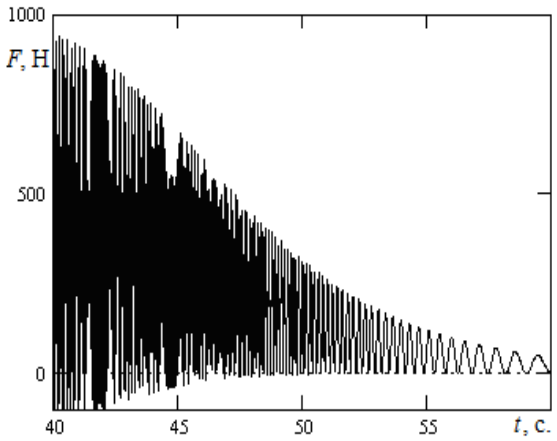


Рис. 3. Сила тяги от времени

Сила, действующая на проводники с током, стремится к нулю, в то время как скорость контуров стремится к скорости волны. Сила принимает и отрицательные значения, это

связано с наличием индуктивного сопротивления контуров. Если принять индуктивное сопротивление равное нулю [4], то сила будет изменяться только в положительной области. Средняя сила при этом будет максимальной. Если принять активное сопротивление равное нулю, то и средняя сила так же будет равна нулю. Индуктивное сопротивление пропорционально относительной частоте проскальзывания волны по рамке. С увеличением скорости движения контура эта частота также уменьшается, значит, снижается и индуктивное сопротивление. Этим объясняется то, что график силы с увеличением времени перемещается в положительную область. Но с увеличением относительной скорости, снижается и скорость изменения магнитного потока, пронизывающего контур, значит, снизится ЭДС, а также и наведенный ток, вследствие чего снизится сила тяги. Этим объясняется то, что колебания силы с течением времени снижаются по амплитуде.

Список литературы

1. *Буйносов А.П.* Основные причины интенсивного износа бандажей колесных пар подвижного состава и методы их устранения. Екатеринбург: УрГУПС, 2009. 224 с.
2. *Буйносов А.П., Умылин И.В.* Разработка схемы стабилизации зарядки аккумуляторных батарей на моторвагонном подвижном составе // Вестник транспорта Поволжья. 2016. № 4. С. 36-39.
3. *Буйносов А.П. Фетисова Н.Г.* Основные принципы создания компьютерной модели экипажной электровоза // Научно-технический вестник Поволжья. 2016. № 2. С. 54-56.
4. *Буйносов А.П., Кислицын А.М.* Определение параметров колесной пары при движении электровоза с помощью измерительной системы АСОК-Л // Научно-технический вестник Поволжья. 2015. № 1. С. 50-52.

05.02.08

И.Н. Фролова к.т.н., И.О. Пантелеев, С.К. Сахаровский, А.А. Сарбаев

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева,
институт промышленных технологий машиностроения,
кафедра технологии и оборудования машиностроения,
Нижний Новгород, vano1332@yandex.ru

К ВОПРОСУ АВТОМАТИЗАЦИИ ВЫБОРА УГЛОВ В ПЛАНЕ РЕЖУЩЕГО КЛИНА В БАЗЕ ДАННЫХ СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХПРОЦЕССОВ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-4-62-64

В работе изложен принцип образования общих связей, автоматически формируемых в базе данных САПР ТП между державкой и сменной многогранной пластиной. Описано преобразование угла в плане режущего клина в углы положения главной и вспомогательной режущих кромок относительно оси вращения шпинделя, представлены результаты вариантов расчетов.

Ключевые слова: *база данных, САПР ТП, режущий клин, угол в плане, общие связи, множества.*

1. Введение

Один из вопросов при выборе в базе данных САПР режущего клина - выбор углов в плане - будем рассматривать на примере резцов со сменными многогранными пластинами (СМП).

Выбор режущего инструмента по углам в плане в базе данных САПР ТП при обработке заданных поверхностей детали будем производить в несколько, независимых друг от друга этапов.

Первый этап - наложение общих связей [1] по углам в плане между державкой и СМП для всех державок и СМП, имеющихся в базе данных САПР ТП. При этом создается множество вариантов режущих клиньев (для всех державок с СМП) с определенными углами положения главной режущей кромки (РКг) и вспомогательной режущей кромки (РКв) относительно оси вращения шпинделя. Основная область применения этих углов - сравнение с заданными углами на втором этапе.

Второй этап - наложение конкретных связей [1] по углам в плане между державкой с СМП и заготовкой. При этом в автоматическом режиме создается множество вариантов режущего клина по углам в плане для обработки заданных поверхностей. Новое множество является пересечением двух множеств: множества общих связей и множества конкретных связей, определяемых заданным контуром детали.

Третий (и последующие этапы) - минимизация множества вариантов режущего клина для обработки заданных поверхностей по прочим условиям.

В данной работе рассматривается только первый этап.

2. Общие связи базы данных САПР ТП при выборе угла в плане

Преобразование параметров режущего клина инструмента в общие связи заключается в определении углов положения главной режущей кромки (РКг) и вспомогательной режущей кромки (РКв) относительно оси вращения шпинделя для каждой возможной комбинации державки и СМП для всех державок и СМП, имеющихся в базе данных САПР ТП.

Тип державки резца по ISO определяется углом в плане φ. Допустим, что любая форма СМП совместима с любым типом державки. На рисунке 1 представлен пример расположения некоторых сменных пластин при использовании типов державок типов *A* и *B* с углами φ, равными 90° и 75° соответственно (для остальных типов державок распределение выполняется подобным образом).

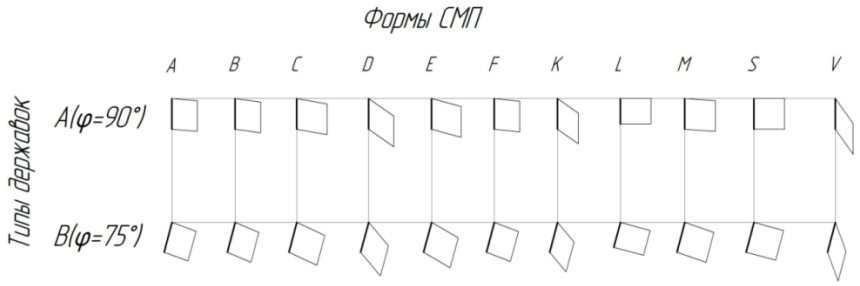


Рис. 1 - Совместимость СМП и державок

Комбинации державок и СМП, показанных на рис. 2, *а, б, в, г,* являются одинаковыми с точки зрения конструкции и выполняемых функций, а различаются лишь по расположению несущей части относительно оси шпинделя и направлению вектора подачи .

Для однозначности определения положения в плане средств технического оснащения, которые участвуют в процессе формообразования, зададим обозначения (рис. 2).

Примем положительное направление оси вращения шпинделя станка (+*Zшп*) за начало отсчета углов в плане.

Зададим положение несущей части - державки (ось +*Zд*) относительно оси шпинделя (+*Zшп*) с помощью угла *ν*. Угол установки державки *ν* может принимать значения: 90° или 180°.

Так же зададим положение вектора подачи (прямой *SI* или обратной *SII*) относительно положительного направления оси шпинделя (+*Zшп*) с помощью угла направления подачи в плане *σI* или *σII* соответственно.

Положение РКг определяется относительно вектора подачи *SI* или *SII* (см. рис. 2) главным углом в плане *φI* или *φII*. Положение РКв определяется относительно РКг углом при вершине *ε*.

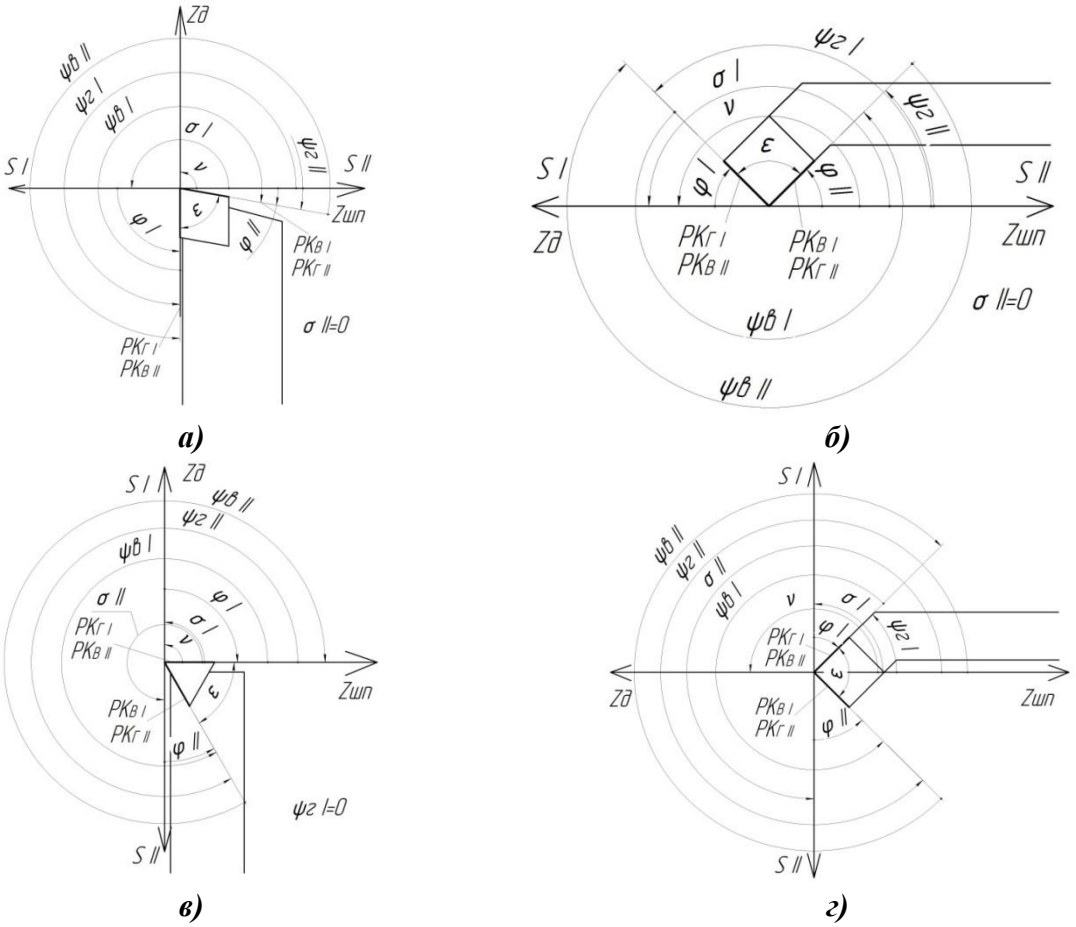


Рис. 2 - Направления формообразующих движений

а - продольное точение; *б* - продольное растачивание; *в, г* - подрезка торца;

Зададим положение РКг относительно оси шпинделя (+*Zшп*) углом *ψгI* и *ψгII*, а положение РКв от РКг - углом *ψвI* и *ψвII* относительно вектора подачи *SI* или *SII* соответственно. Углы *ψг* и *ψв* показывают предельные значения углов направления возможных подач резца при обработке контура детали, в отличии от символьных направлений подач, которые указаны в каталогах фирм-производителей.

Угол *ψг* зависит только от углов *φ* и *σ*, поэтому для всех СМП, устанавливаемых на один тип державки, угол *ψг* будет постоянным, в то время как угол *ψв* будет меняться при смене формы СМП. Так как любая форма СМП совместима с любым типом державки, произведем расчет возможных вариантов расположения режущих кромок РКг и РКв относительно +*Zшп*. Всего, в зависимости от направления вектора подачи *SI* или *SII* (см. рис. 2), можно получить 8 различных вариантов расположения в плане режущих кромок РКг и РКв для одной комбинации "державка - СМП". Расчет углов в плане *ψг* и *ψв* положения РКг и РКв может быть осуществлен в автоматическом режиме как для имеющихся в базе, так и при вводе новых державок или СМП в базу данных САПР ТП.

В таблице 1 представлен результат расчета всех вариантов углов *ψг* и *ψв* для правых резцов (типы державок *A* и *B* при установке на них пластин формы *A* и *D).* Для левых резцов расчет производится аналогичным способом.

Таблица - Результат расчета углов *ψг* и *ψв* для правых резцов

Правые резцы				Форма пластины	A	D
				Угол ε°	85	55
Тип державки	Угол державки в плане, φ°	Угол установки державки относ. оси шпинделя Zшп, ν°	Угол направления подачи S в плане, σ°	ψг	ψв	ψв
A	90	90	0	-90,0	185,0	215,0
			90	0,0	275,0	305,0
			180	270,0	-5,0	-35,0
			270	360,0	85,0	55,0
		180	0	180,0	-95,0	-125,0
			90	0,0	275,0	305,0
			180	90,0	365,0	395,0
			270	360,0	85,0	55,0
B	75	90	0	-75,0	200,0	230,0
			90	15,0	290,0	320,0
			180	255,0	-20,0	-50,0
			270	345,0	70,0	40,0
		180	0	165,0	-110,0	-140,0
			90	15,0	290,0	320,0
			180	105,0	380,0	410,0
			270	345,0	70,0	40,0

3. Заключение

Основная область применения углов *ψг* и *ψв* положения РКг и РКв относительно оси вращения шпинделя - сравнение с заданными углами контура конкретной обрабатываемой детали при выбора режущего инструмента.

Полученные в автоматическом режиме расчетные значения углов *ψг* и *ψв* должны в явном виде храниться в базе данных САПР ТП как многовариантная характеристика (общая связь) сборки "державка - СМП".

Список литературы

1. *Фролова И.Н.* Связи в технологических системах механической обработки / Научно-теоретический журнал "Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова". - Белгород, № 1, 2016. - с. 82-86

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

05.11.00

А.В. Галин, О.Г. Морозов д.т.н., П.В. Гаврилов,
А.Ж. Сахабутдинов к.ф.-м.н., И.А. Макаров, А.А. Тяжелова

Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н.Туполева – КАИ, кафедра радиофотоники и микроволновых технологий,
Казань, microoil@mail.ru

ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЕ И ТЕРАГЕРЦОВЫЕ БРЭГГОВСКИЕ РЕШЕТКИ ДЛЯ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА БУМАГИ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-4-65-68

Показаны варианты решения задачи определения качества бумаги в процессе производства с помощью рефрактометрических измерений. Влажность бумаги – один из важных факторов, определяющий ее размер, свойства и качество применения как конечного продукта. При контакте с волоконно-оптическим рефрактометром на базе брэгговской решетки свет проникает в поверхность бумаги, условия его распространения по волокну изменяются в зависимости от показателя преломления бумаги, который, в свою очередь, изменяется от влажности. Предложена структура перспективного терагерцового рефрактометра на базе брэгговской решетки, способного измерять кроме влажности и толщину бумаги: спектральная чувствительность такого датчика к изменениям толщины бумаги может достигать 0,1 ГГц/мкм, минимальное измеряемое изменение толщины бумаги составит ~ 20 мкм при разрешении временных спектрометров в 1,5 ГГц. При использовании двухчастотного непрерывного зондирования последний параметр достигает единиц Гц, а минимальная измеряемая толщина долей мкм.

Ключевые слова: *волоконно-оптический кабель, ИК-диапазон, кабель из полистирола с малыми потерями, терагерцовый диапазон, брэгговская решетка, амплитудно-фазовый метод формирования двухчастотного зондирующего излучения*

Введение. При решении задач повышения качества бумаги следует иметь в виду, что она является продуктом массового производства, нуждающимся в современных методах и средствах контроля на разных стадиях технологических процессов. Наиболее актуальными представляются задачи измерения параметров и контроля качества в оперативном режиме бесконтактными методами н средствами, среди которых самыми предпочтительными следует признать оптические, поскольку они обладают предельным быстродействием и широкими возможностями модуляции амплитудных, спектральных, временных и пространственных параметров излучения.

Отсюда становится очевидной актуальность решения важной научно-технической задачи – измерения влажности, влияющей на качество бумаги, причем измерительная аппаратура должна обеспечивать возможность определения влажности с гарантированной точностью с целью автоматизированного контроля конечного продукта в реальном масштабе времени в ходе технологического процесса.

Основным недостатком существующих оптических методов [1, 2] является то, что они рассматривают влажность как макромасштабный процесс в точке. На практике это означает, что временные и пространственные процессы увлажнения не могут быть измерены в реальном масштабе времени. Исходя из указанных недостатков, была поставлена задача создания распределенных волоконно-оптических рефрактометров для измерения влажности

бумаги и возможного трансфера технологий в терагерцовый диапазон, для которого бумага является прозрачным материалом с определенным коэффициентом поглощения, зависящим не только от влажности, но и от толщины. Данная задача решалась с учетом возможности применения в них методов двухчастотного зондирования неизвестных контуров брэгговских решеток [3-5], основанных на принципах радиофотоники, смоделированных [6-8] и реализованных при решении рефрактометрических и других задач [9-14].

Рефрактометр в волокне D-образной формы. Коммерческое волокно легко вытравливается или шлифуется контролируемым образом, чтобы создать D-образную зону для возбуждения затухающих полей [1]. Это волокно также сохраняет поляризацию, поскольку оно имеет эллиптическую сердцевину и большую числовую апертуру. В результате можно измерить изменение как двулучепреломления, так и длины волны Брэгга. Это может обеспечить измерительное средство для контроля кроме влажности, еще и температуры, например, для ее компенсации, хотя всегда можно иметь опорную решетку рядом, на незанятом участке волокна. Кроме того, протравленная плоская часть D-секции является удобной для контакта с поверхностью бумаги (рис. 1). Волоконные брэгговские решетки (ВБР) были записаны в водородо-насыщенном волокне с использованием интерферометра Тальбота и 248 нм лазерных импульсов. На рис. 2 показана АЧХ ВБР, которая будет использована в дальнейших исследованиях и была получена в НИИ ПРЭФЖС КНИТУ-КАИ.

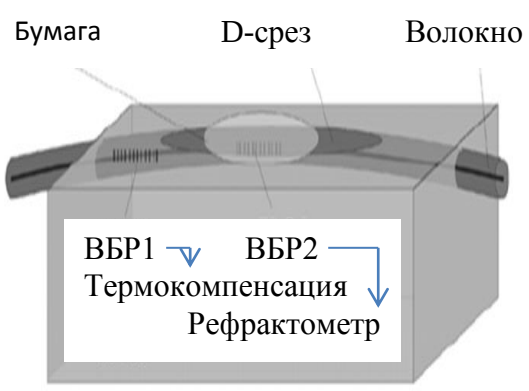


Рис. 1 – Структура рефрактометра [1]

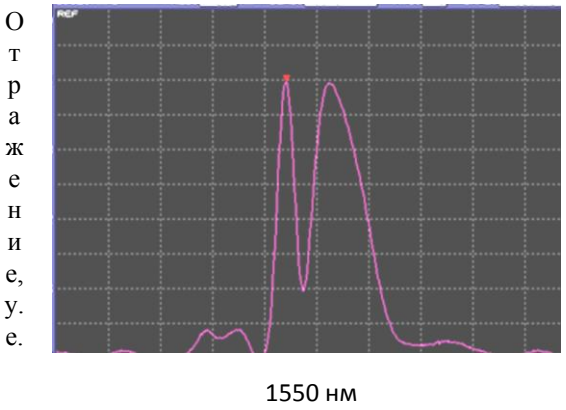


Рис. 2 – АЧХ ВБР2 для ИК-рефрактометра

Для рефрактометра на базе ВБР центральная длина волны полосы отражения λ_B определяется как

$$\lambda_B = 2n_{eff}\Lambda, \quad (1)$$

где n_{eff} – эффективный показатель преломления основной моды волокна, Λ – период решетки.

Коэффициент преломления исследуемого материала (окружающей рефрактометр среды) n_{amb} может быть определен по измеренной λ_B и известных коэффициенте преломления сердцевины n_{co} и радиусе a_{cl} оболочки вытравленного волокна по известной процедуре.

Рефрактометр на базе терагерцовой ВБР. Субволновые волоконно-оптические волокна с диаметром 400 мкм были вытянуты из заготовки полистирола низкой плотности (ПНП) [2]. ПНП имеет относительно низкие потери (~ 0,2 см-1) и почти постоянный показатель преломления (RI) 1,54 в области 0,2-0,5 ТГц. Затем были записаны терагерцовые ВБР (ТВБР) точечно на 5-сантиметровых участках волокон ПНП со ступенчатым индексом с использованием лазера Synrad CO2, работающий на длине волны 10,6 мкм со средней выходной мощностью 1,5 Вт и частотой повторения импульсов 20 кГц. TFBG состоит из 48 выемок толщиной ~ 110 мкм и шириной ~ 170 мкм (рис. 3). АЧХ ТВБР, полученная в НИИ ПРЭФЖС КНИТУ-КАИ представлена на рис. 4.

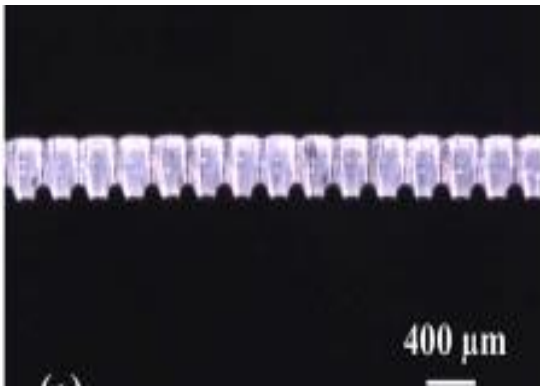
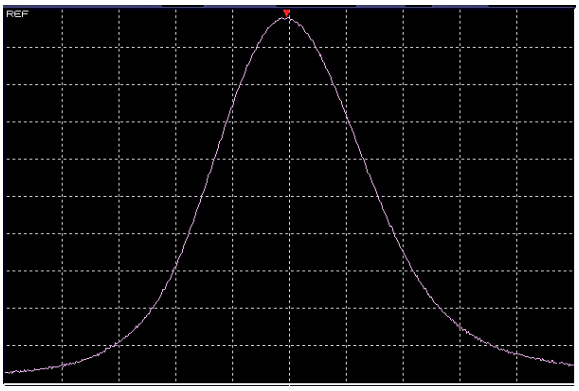


Рис. 3 – Структура ТВБР [2]

Отражение, у. е.



0,375 ТГц

Рис. 4 – АЧХ ТВБР

Период решетки составляет 340 мкм, чтобы разместить брэгговскую длину волны ТВБР в области малых потерь, в районе ~ 0,3-0,5 ТГц. Общая длина ТВБР составляет 17 мм.

Спектральная чувствительность такого датчика к изменениям толщины бумаги может достигать 0,1 ГГц/мкм, минимальное измеряемое изменение толщины бумаги составит ~ 20 мкм при разрешении временных спектрометров в 1,5 ГГц. Возможные погрешности измерений – плохой контакт бумаги с решеткой и наличие воздуха между слоями. Возможные достоинства – измерение влажности бумаги при однослойной загрузке с вычитанием известного значения величин при наличии сухой бумаги.

Особенности опроса волоконно-оптических и терагерцовых ВБР. Отметим, что вместо использования широко распространенного и дорогого спектрального опроса ВБР и ТВБР, можно применить альтернативный метод контроля влажности и толщины бумаги с помощью фазового опроса. Фазовый опрос может быть реализован путем анализа изменений фазы в передаваемых ВБР и ТВБР сигналах на частотах за пределами центральной частоты (двухчастотное или полигармоническое зондирование [3-14]). Более подробный анализ показывает, что фазовые методы опроса являются малошумящими, а их чувствительность вполне сопоставима со спектральными.

Двухчастотное или полигармоническое излучение практически не использовалось ранее в рефрактометрах [9-11]. Преимущества его использования при формировании по методу амплитудно-фазового преобразования оптической несущей Ильина-Морозова заключается в возможности уменьшения влияния несущей частоты на постоянную составляющую анализируемого сигнала. Формирование полигармоничес-кого излучения в комб-генераторе позволит заменить широкополосный низко когерентный источник, а в сумме с указанными выше изменениями уменьшить перекрестные помехи между датчиками, повысить разрешающую способность, увеличить отношение сигнал/шум и диапазон измерений. Стоимость типового двухчастотного интеррогатора будет в 3-5 раз меньше стоимости типовой широкополосной системы спектрального анализа, например, на оптическом анализаторе спектра EXFO. В каждом канале может быть установлено до 5-10 однотипных датчиков, разрешение достичь единиц Гц, а минимальная измеряемая толщина долей мкм.

Заключение. В заключение следует сказать, что мы представили новые устройства для измерения качества бумаги в ходе технологического процесса с использованием ВБР в ИК-диапазоне и ТВБР – в терагерцовом. Решетки представляют собой удобную технологическую платформу для объединения различных методов опроса (спектральные, амплитудные и фазовые) в одном датчике, способным реализовать надежный мультиметр для измерения толщины и/или влажности бумаги. Использование метода полигармонического зондирования резонансных датчиков, развиваемый в НИИ ПРЭФЖС и кафедре РФМТ КНИТУ-КАИ, может найти широкое применение в новом частотном диапазоне, в области терагерцовых технологий.

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/БЧ).

Список литературы

1. *Schroeder K., et al.* A fibre Bragg grating refractometer // Meas. Sci. Technol. 2001. V. 12. P. 757-764.
2. *Zheng S., Ge S., Zhang X.* Resonant THz sensor for paper quality monitoring using THz fiber Bragg gratings // Opt. Lett. 2013. V. 38. № 13. P. 2200–2202.
3. *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.
4. *Касимова Д.И. и др.* Оценка возможностей применения волоконных решеток Брэгга с гауссовым профилем отражения в качестве датчика температуры // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2013. № 2 (18). С. 73-81.
5. *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.
6. *Талипов А.А. и др.* Метод формирования двухчастотного излучения для синтеза солитонов и применения спектрально-эффективной модуляции RZ и CSRZ форматов в оптических сетях доступа // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2012. № 2(16). С. 3-12.
7. *Севастьянов А.А. и др.* Формирование многочастотного излучения в двухпортовом модуляторе Маха-Цендера // Научно–технический вестник Поволжья. 2013. № 4. С. 232–236.
8. *Айбатов Д.Л., Морозов О.Г., Садеев Т.С.* Преобразование спектра оптического излучения в двухканальном модуляторе Маха-Цендера и ROF-фильтр на его основе // Нелинейный мир. 2010. Т. 8. № 5. С. 302-309.
9. *Садыков И.Р. и др.* Волоконно-оптический рефрактометрический датчик // Труды МАИ. 2012. № 61. С. 18.
10. *Морозов О.Г., Степущенко О.А., Садыков И.Р.* Модуляционные методы измерений в оптических биосенсорах рефрактометрического типа на основе волоконных решеток Брэгга с фазовым сдвигом // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2010. № 3. С. 3-13.
11. *Куприянов В.Г. и др.* Волоконно-оптические технологии в распределенных системах экологического мониторинга // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2011. Т. 13. № 4-4. С. 1087-1091.
12. *Морозов Г.А., Морозов О.Г., Насыбуллин А.Р., Самигуллин Р.Р.* Микроволновая обработка термореактивных и термопластичных полимеров // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2011. Т. 14. № 3. С. 114-121.
13. *Морозов Г.А. и др.* Резонансные методы мониторинга технологических процессов отверждения полимеров в функционально адаптивных СВЧ-реакторах // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2012. Т. 14. № 1-2. С. 568-572.
14. *Ильин Г.И., Морозов О.Г., Польский Ю.Е.* ЛЧМ-лидар с преобра-зованием частоты // Оптика атмосферы и океана. 1995. Т. 8. № 12. С. 1871.

05.11.00

[1]В.О. Ефимов, [1]А.Н. Пикулев к.т.н., [1]Н.В. Дорогов, [1]А.А. Тяжелова, [1]Л.М. Сарварова, [1]В.Ю. Колесников, [2]А.М. Николаев, [2,3]П.М. Николаев, [2,3]Ю.М. Николаев

[1]Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н.Туполева – КАИ, кафедра радиофотоники и микроволновых технологий, Казань, microoil@mail.ru
[2]НИИ Аэроупругих систем, Феодосия, frias@mail.ru,
[3]Летно-испытательное предприятие «Взлет», Феодосия, frias@mail.ru

МЕТОДЫ КОМПЕНСАЦИИ ВЛИЯНИЯ АТМОСФЕРНОЙ ТУРБУЛЕНТНОСТИ НА ТОЧНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ УГЛОВЫХ КООРДИНАТ В ЛАЗЕРНЫХ ЛОКАТОРАХ СЛЕЖЕНИЯ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-4-69-71

Лазерным локаторам слежения присущи определенные недостатки, среди которых сильное влияние атмосферы на их энергетические и точностные параметры, процесс наведения узкого луча на объект и др. Высокие требования к локаторам (погрешность измерения угловых координат до единиц угловых секунд) приводят к необходимости учета состояния атмосферы на трассе для внесения поправок в измерения. В частности, к существенному ослаблению сигнала приводит явление турбулентности атмосферы. Для снижения ошибки угловых измерений целесообразно использование методов компенсации влияния турбулентности атмосферы. Наиболее перспективным методом может быть использование оптических устройств, формирующих эффективную апертуру с равномерным распределением интенсивности лазерного излучения по сечению луча, падающего на фотоприемник.

Ключевые слова: *лазерный локатор слежения, угловые координаты, турбулентность атмосферы, методы компенсации*

Введение. Работа лазерного локатора слежения (ЛЛС) при дальностях свыше 15 км сопровождается значительным влиянием атмосферных явлений [1]. Одним из них, существенно снижающим возможности оптической локации, является рассеяние излучения от атмосферы в обратном направлении (помеха обратного рассеяния), которое может привести к превышению над полезным сигналом сигнала обратного рассеяния. Это приведет к уменьшению отношения сигнал/шум и снизит эффективность работы ЛЛС в целом. Атмосферная добавка за счет рефракции для длины волны 0,53 мкм имеет порядок (на уровне моря) 3×10^{-4} от максимально измеряемой дальности [2]. Таким образом, для расстояния в 15 км аддитивная добавка $\Delta R_{\text{реф}}$ к реальной измеряемой дальности составит 4,5 м. Наконец, к существенному ослаблению сигнала и уменьшению точности измерения угловых координат приводит явление турбулентности атмосферы. Если путем борьбы с помехой обратного рассеяния является стробирование приемника ЛЛС или применение ВАРУ, влияние рефракции можно учесть расчетным путем, то влияние турбулентности скомпенсировать не просто.

Влияние турбулентности атмосферы на точность измерения угловых координат. Проблема точного определения углового положения объекта слежения ЛЛС во многом связана с искажениями волнового фронта, вносимыми атмосферными турбулентностями. В реальной атмосфере создаются завихрения от ветра и конвективных потоков воздуха, причем размеры и число завихрений беспорядочно меняются. Каждый вихрь представляет собой

некоторый объем воздуха (турбулентная ячейка), характеризующийся присущими ему значениями скорости, температуры, показателя преломления и т.д. При прохождении лазерного излучения через турбулентную атмосферу происходит пространственное перераспределение интенсивности в лазерном пучке, изменение диаметра пучка, смещение «центра тяжести» пучка и т.д. [3]. В результате у локатора возникает ошибка углового сопровождения цели, вызванная турбулентностью атмосферы. В ЛЛС предполагается достаточно жесткое требование к погрешности измерения по углу (10″). В связи с этим, рассмотрим некоторые методические и аппаратные способы уменьшения влияния турбулентности на угловые измерения.

Методика выбора передающей и приемной апертуры ЛЛС. Характер турбулентности имеет существенное значение при решении вопроса о выборе передающей и приемной апертур ЛЛС. При детектировании требуется получить как можно больше отношение сигнал/шум. Это отношение для случая непосредственного детектирования возрастает с увеличением приемной апертуры лишь до определенного предела. Этот предел зависит в каждом случае от совокупного действия эффектов «дрожания» и нарушения когерентности, т.е. от конкретных условий распространения лазерного излучения.

Увеличение передающей апертуры уменьшает расходимость луча. Однако, как показывают исследования [3], здесь тоже существует предел, т.е. при увеличении передающей апертуры выше определенного значения расходимость луча снова будет увеличиваться.

Обычно при рассмотрении этого вопроса вводится величина, называемая эффективной апертурой. Эффективная апертура определяется формулой $D_{\text{эфф}} = \left(0{,}06\lambda^2 / C_n^2 R\right)$, где C_n – структурная константа, зависящая от состояния турбулентной атмосферы, λ – рабочая длина волны, R – длина пути луча в атмосфере. Формула позволяет определить то наименьшее значение апертуры, при котором достигается отношение сигнал/шум, близкое к максимально возможному. Если диаметр апертуры значительно больше, чем $D_{\text{эфф}}$, то влияние атмосферных искажений становится настолько серьезным, что отношение сигнал/шум почти не улучшается при увеличении диаметра апертуры.

Разумным верхним пределом при конструировании приемника обычно считается величина $D = 5D_{\text{эфф}}$. Когда флуктуации показателя преломления минимальны, значение $D_{\text{эфф}}$ увеличивается и можно эффективно использовать оптику большого диаметра, которая обеспечит достаточную величину сигнала при больших расстояниях.

Аппаратные методы компенсации влияния турбулентности. Существуют различные аппаратные способы уменьшения влияния турбулентной атмосферы. Для уменьшения ошибки слежения, обусловленной временными изменениями пространственного распределения интенсивности в световом пятне принимаемого излучения в результате влияния атмосферных турбулентностей, используется устройство уменьшения размеров светового пятна и создания равномерного распределения интенсивности по сечению луча. Устройство устанавливается перед фотоприемником и состоит из двух линз и расположенного между ними диффузного оптического элемента (пучок стекловолокон или опаловое стекло). Таким образом, устраняется временная флуктуация распределения интенсивности излучения на фоточувствительной поверхности приемника и тем самым уменьшается ошибка сопровождения (примерно в 10 раз).

Искажения, вносимые турбулентностями, влекут за собой перераспределение энергии в дальней зоне по сечению пучка, что в конечном итоге приводит к неоптимальной передаче энергии даже при точном наведении оптической оси на цель. Поэтому в последние годы получила развитие адаптивная лазерная локация, методы которой позволяют оптимизировать энергетические соотношения и точностные параметры определения угловых координат, благодаря восстановлению пространственной когерентности лазерного пучка. В качестве критерия точного наведения на цель может быть использовано максимальное значение принимаемого адаптивным оптическим локатором сигнала, отраженного целью. Корректировка волнового фронта производится путем подбора такого распределения

фазовых соотношений в сечении излученного сигнала, при котором принимаемый сигнал будет максимален. Описание подобных систем приведено в [1, 3] и использовано нами при построении ЛЛС аэроупругих систем [4-12].

Заключение. Проведена оценка влияния атмосферы на точностные параметры ЛЛС. Показано, что высокие требования к ЛЛС приводят к необходимости учета состояния атмосферы на трассе для внесения поправок в измерения. Для снижения ошибки угловых измерений целесообразно использование методов компенсации влияния турбулентности атмосферы. Наиболее перспективным методом может быть использование оптических устройств, формирующих эффективную апертуру ЛЛС с равномерным распределением интенсивности по сечению луча, падающего на фотоприемник.

Список литературы

1. *Molebny V., et al.* Laser radar: historical prospective – from the East to the West // Opt. Eng. 2016. V. 56. № 3. P. 031220.
2. *Зуев В.В., Кабанов М.В.* Перенос оптических сигналов в земной атмосфере в условиях помех. М.: Сов. радио, 1977. 368с.
3. *Малашин М.С., Каминский Р.П., Борисов Ю.Б.* Основы проекти-рования лазерных локационных систем. М.: Высшая школа, 1983. 207 с.
4. *Васильев С.В. и др.* Перспективные методы и средства траекторных измерений. Казань: Новое знание, 2005. 128 с.
5. *Natanson O.G., et al.* Reflectometry in open and fiber mediums: technology transfer // Proc. SPIE. 2005. V. 5854. P. 205-214.
6. *Morozov O.G., et al.* Mobile leak detection systems for oil product pipelines // Proc. SPIE. V. 3588. 1999. P. 90-98.
7. *Petuchov V.M., et al.* Lidar technologies application to leakage detection in oil product pipelines // Proc. SPIE. V. 3588. P. 81-89.
8. *Nikolaev A.M., et al.* Intellectual parachute and balloon systems based on fiber optic technologies // Proc. SPIE. 2014. V. 9156. P. 91560B.
9. *Nikolaev A.M., et al.* Fiber optic sensors for parachute systems monitoring // Proc. SPIE. 2010. V. 7523. P. 752308.
10. *Ильин Г.И., Морозов О.Г., Польский Ю.Е.* ЛЧМ-лидар с преобра-зованием частоты // Оптика атмосферы и океана. 1995. Т. 8. № 12. С. 1871.
11. *Ильин Г.И. и др.* Блок импульсной накачки лидарных комплексов // Оптика атмосферы и океана. 1995. Т. 8. № 5. С. 762.
12. *Ильин Г.И., Морозов О.Г., Польский Ю.Е.* Исследования ЛЧМ-лидара с преобразованием частоты // Оптика атмосферы и океана. 1997. Т. 10. № 2. С. 435.

05.11.00

К.А. Кузьмин, И.В. Нелин к.т.н., В.А Скуратов

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),
факультет Радиовтуз МАИ,
кафедра 44-3 «Аналоговые и цифровые радиоэлектронные системы»,
Москва, kaf-44-3@yandex.ru

МЕХАНИЗМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ФИЛЬТРАЦИИ РАДИОСИГНАЛОВ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-4-72-74

В статье рассмотрен подход к проектированию адаптивного фильтра радиосигналов посредством нейросетевых технологий, представлены результаты исследования, оптимизации и практического применения нейронных сетей для отсева случайных помех.

Ключевые слова: *фильтр, нейронные сети, архитектура сети.*

Фильтром называют устройство, которое пропускает на выход только желательные компоненты спектра радиосигнала, при этом отсеивая нежелательные. Качественный фильтр удается построить только тогда, когда в шуме обнаруживается некоторое свойство, отсутствующее в полезном сигнале. Если компоненты спектра радиосигнала обладают этим свойством, то они задерживаются фильтром как шум, а если не обладают - то пропускаются на выход. Для реализации такого подхода необходимо наличие информации о шуме, который накладывается на полезный сигнал. К сожалению, часто неизвестны ни источники шума, ни его свойства. В этом случае полезный сигнал можно отделить от неизвестных помех с помощью адаптивного фильтра, построенного на базе нейросети. Адаптация заключается в обучении приемника сигналов заранее неизвестным принципам отделения полезного сигнала от шума. Для этого в качестве входных сигналов рассматриваются примеры искаженного случайным образом сообщения, а в качестве выходных сигналов используются примеры "чистого" сообщения. Через некоторое время сеть научится выделять неискаженные выходные сигналы из зашумленных сообщений и сможет использоваться в качестве фильтра.

Процесс обучения опирался на заранее подготовленную обучающую выборку, которая содержала как входные сигналы для всех нейронов сети, так и эталоны корректных выходных сигналов, с которыми обучающий алгоритм будет сравнивать результаты фактического функционирования сети. Набор входных сигналов состоит из пяти элементарных векторов, тогда как эталонный выходной сигнал один. После считывания данных программа пытается самостоятельно классифицировать объекты, записанные в файле. Если классификация оказывается неудачной, то программа модифицирует весовые коэффициенты моделируемого нейрона, таким образом, нейрон учится лучше решать поставленную задачу. Если обратить внимание на динамику процесса обучения, то уже после нескольких первых предъявлений обучающих данных существенно повышается эффективность функционирования нейронной сети. В исследовании применялся только набор маркированных данных входного и выходного сигналов, генерируемых системой в равномерные дискретные интервалы времени. В частности, если m узлов генерирует m-мерное воздействие x(i), система формирует скалярный выходной сигнал d(i), где i=1,2,...n. Внешнее поведение системы можно описать следующим множеством данных:

$$T: \{x(i),d(i);i=1,2,....,n,...\},$$

где $x(i)=[x_1(i),x_2(i),....x_m(i)]^T$

В качестве прототипа выступала простая линейная однослойная нейронная сеть (single-layer network), под единственным слоем которой подразумевается слой вычислительных элементов. При подсчете слоев узлы источника не принимались в расчет, так как в системе вычислений они задействованы не были.

Зависимость между входами (x_i i=1,2,...,n) и выходом (y) линейного нейрона имеет вид:

$$y = \sum_{i=1}^{n} w_i x_i$$

либо в векторной форме:

$$y=W^T X$$

где x_i с $i = 1,2,...,n$ - входные сигналы, $W=(w_1,w_2,.....w_n)$ - синаптические веса нейрона, T - символ транспортирования.

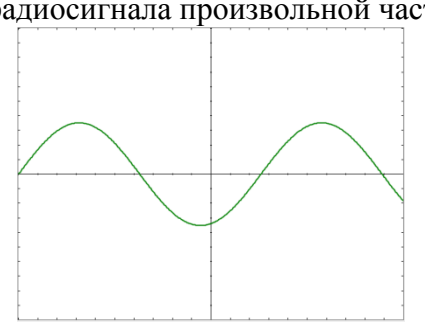
Элемент, описываемый представленной линейной зависимостью, обладает определенным свойством выделять те входные векторы, которые похожи на вектор весовых коэффициентов. Это обусловлено особенностью скалярного произведения: выходной сигнал будет тем сильнее, чем больше расположение входного вектора *x* в пространстве входов будет похоже на расположение вектора весовых коэффициентов *w* в пространстве весов. Таким образом, даже одиночный нейрон сможет распознавать определенный класс входных векторов.

Единичный нейрон также составляет основу адаптивного фильтра - функционального блока, являющегося основным для предметной области обработки сигналов. Адаптивные фильтры могут успешно применяться в таких разноплановых областях, как системы связи, радиолокации, сейсмологии и биомедицинской инженерии [1, 2].

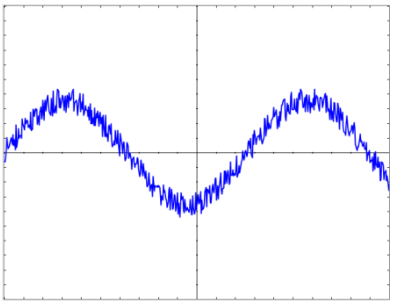
Алгоритм начинает работу с произвольных значений синаптических весов нейронов. После каждого шага обучения происходит вычисление корректирующих значений для синаптических весов и запускается процесс их адаптации, включающий автоматическую подстройку весов нейрона на основе сигнала ошибки. Вычисление и применение сигнала ошибки для коррекции синаптических весов нейронов определяется функцией стоимости веса, используемой конкретным методом адаптивной фильтрации.

Для демонстрации работы прототипа адаптивного фильтра были подобраны и апробированы следующие значения параметров нейронной сети и выходных сигналов: тип обрабатываемого сигнала – монохроматический сигнал, радиоимпульс с гауссовской огибающей; размерность сети (Networks size) - 500; ожидаемый уровень шума (Noise level measure) - 0.5, 0.8; количество шагов процесса обучения (Number of teaching steps) - 50.

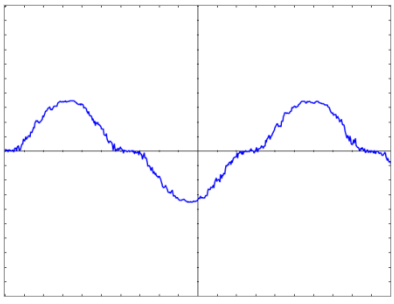
На рисунке 1 представлен процесс фильтрации монохроматического гармонического радиосигнала произвольной частоты.



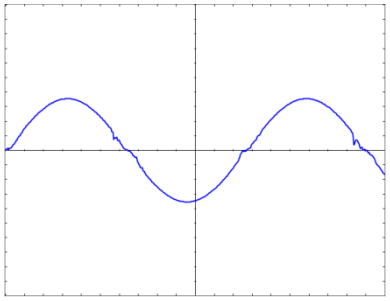
а) эталонный сигнал



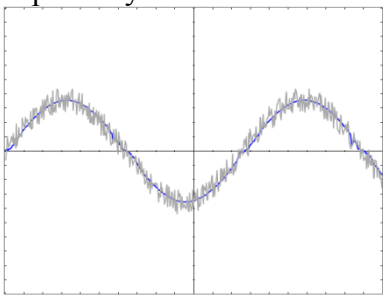
б) сигнал, поступающий на обработку



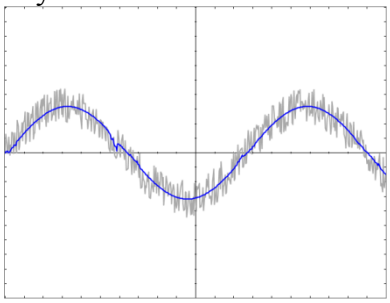
в) сигнал после пятого шага обучения сети



г) сигнал после пятидесятого шага обучения



д) входной и выходной сигналы сети (относит. уровень шума – 0.5)



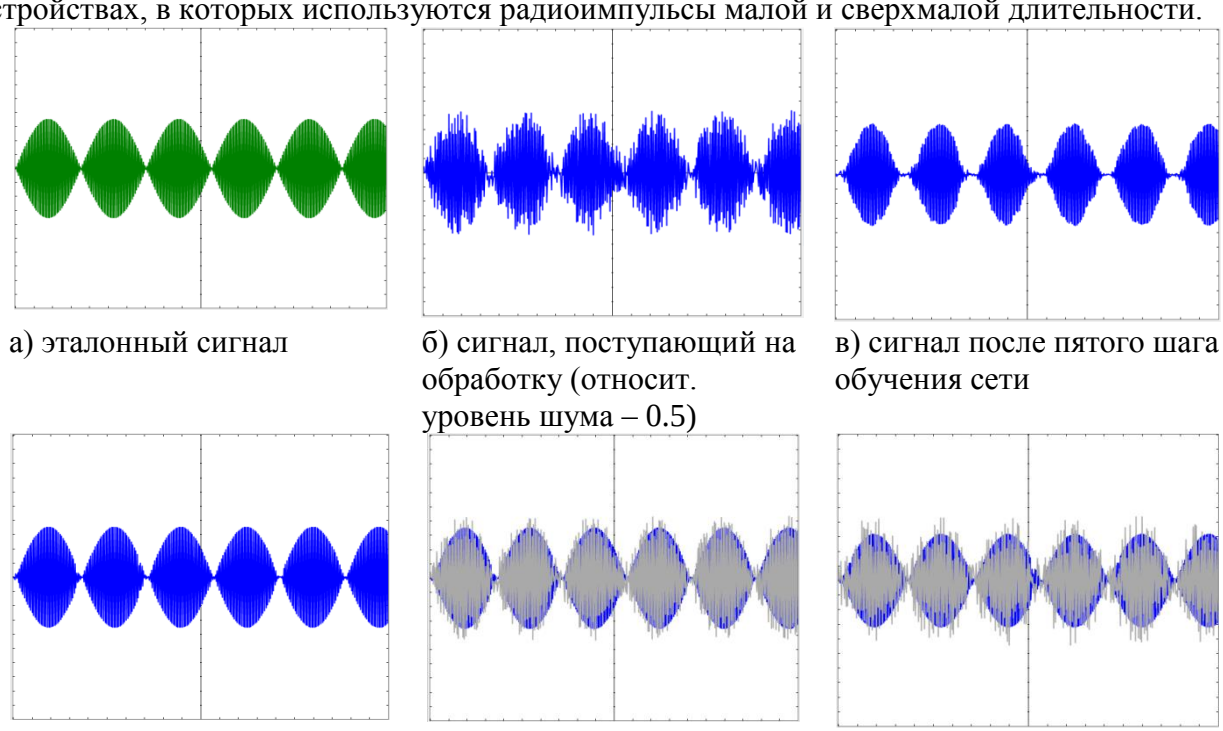
е) входной и выходной сигналы сети (относит. уровень шума – 0.8)

Рис. 1 – Фильтрация монохроматического радиосигнала произвольной частоты

Гармонические функции имеют уникальные свойства: 1) Все производные от нее являются также гармоническими функциями. 2) Все интегралы от нее также являются гармоническими функциями. 3) Сумма любого числа гармонических функций одной частоты с любыми амплитудами и фазами – всегда гармоническая функция той же частоты.

Эти свойства значительно облегчают проектирование радиотехнических систем и входящих в их состав устройств, в тех случаях, когда гармонические функции являются несущими колебаниями для сигналов, используемых в этих системах. Данный тип сигналов хоть и не способен передавать информацию, но очень удобен для теоретического анализа и отработки алгоритмов фильтрации.

На Рисунке 2 представлен процесс фильтрации радиоимпульса с гауссовской огибающей. Такая форма сигналов является достаточно распространенной в радиолокационных устройствах, в которых используются радиоимпульсы малой и сверхмалой длительности.



а) эталонный сигнал

б) сигнал, поступающий на обработку (относит. уровень шума – 0.5)

в) сигнал после пятого шага обучения сети

г) сигнал после пятидесятого шага обучения

д) входной и выходной сигналы сети (относит. уровень шума – 0.5)

е) входной и выходной сигналы сети (относит. уровень шума – 0.8)

Рис.2 - Фильтрация радиоимпульса с гауссовской огибающей

Представленные примеры наглядно демонстрируют возможности применения нейросетей для фильтрации радиосигналов: уже спустя десять шагов обучения сеть начинает весьма успешно отделять полезный сигнал от шума. В процессе исследования было отмечено, что труднее всего обучить сеть выделять сигнал в тех местах, в которых его значения малы или равны нулю. По этой причине рекомендуется смещать постоянную составляющую сигнала таким образом, чтобы амплитуда сигнала не принимала малых или нулевых значений.

В независимости от размера нейронной сети возможности принцип действия одного нейрона и сложной многослойной структуры довольно схож. Соответственно, сеть можно рассматривать как совокупность взаимодействующих нейронов, а информацию о поведении одиночных нейронов можно естественным образом перенести на всю сеть. Таким образом, дальнейшие исследования будут направлены на импорт апробированных нейросетевых механизмов для реализации их на практических задачах в области фильтрации радиосигналов.

Список литературы

1. *Haykin S.* Adaptive Filter Theory, 3rd edition, Englewood Cliffs, NJ: Prentice- Hall, 2008.
2. *Widrow B. and S.D. Stearns*. Adaptive Signal Processing, Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 2005.

05.11.00

[1]А.Р. Латфуллин, [1]Р.Ш. Яруллов, [2]Н.В. Жиляков, [1]Э.Ф. Хазиев, [1]Д.В. Самигуллин

[1]Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева, институт радиоэлектроники и телекоммуникаций,
кафедра радиофотоники и микроволновых технологий,
[2]Казанский институт биохимии и биофизики КазНЦ РАН,
Казань, ajdarlatfullin@gmail.com

РЕГИСТРАЦИЯ КАЛЬЦИЕВОГО ТРАНЗИЕНТА В ПЕРИФЕРИЧЕСКИХ СИНАПСАХ МЫШИ, ЗАГРУЖЕННЫХ ВЫСОКО- И НИЗКОАФФИННЫМИ КАЛЬЦИЕВЫМИ КРАСИТЕЛЯМИ, ПРИ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ СТИМУЛЯЦИИ ДВИГАТЕЛЬНОГО НЕРВА

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-4-75-77

В данной работе представлены результаты оценки входа кальция в периферические нервные окончания теплокровных животных при высокочастотной стимуляции двигательного нерва. Исследование выполнено с применением двух флуоресцентных кальциевых красителей с разной аффинностью к кальцию.

Ключевые слова: *кальций, нервно-мышечное соединение, флуоресцентные красители, высокочастотная стимуляция, Ca^{2+}.*

В нервно-мышечном синапсе механизм передачи возбуждения состоит из нескольких этапов. Во-первых, нервный импульс, достигая пресинаптической мембраны, деполяризует ее [1]. Во время деполяризации пресинаптической мембраны открываются потенциал-чувствительные кальциевые каналы, и ионы кальция (Ca^{2+}) входят в нервное окончание [2]. Увеличение концентрации ионов кальция служит триггером для высвобождения нейромедиатора – ацетилхолина [3]. Ацетилхолин является основным нейромедиатором в нервно-мышечном окончании. Ацетилхолин связывается с рецепторами мышечного волокна, что вызывает генерацию потенциала действия и впоследствии приводит к сокращению мышцы [4]. В нормальных физиологических условиях в организме передача сигналов к мышечным волокнам происходит пачками нервных импульсов, генерируемых с определенной частотой [5]. Поэтому исследование входа ионов Ca^{2+} в нервное окончание при высокочастотной стимуляции двигательного нерва является актуальной задачей нейрофизиологии. Для анализа входа ионов Ca^{2+} в нервное окончание используют оптические методы регистрации с применением Ca^{2+}-чувствительных флуоресцентных красителей, которые при связывании с ионами кальция изменяют интенсивность свечения (Ca^{2+}-транзиент) [6]. Кальциевые красители могут обладать различной аффинностью – сродством к ионам Ca^{2+} [7]. В данном исследовании мы протестировали два типа кальциевых красителей на предмет оценки изменения внутриклеточного содержания ионов кальция в ходе ритмической стимуляции в широком диапазоне частот. Были использованы высокоаффинный кальциевый краситель Oregon Green Bapta 1 hexapotassium salt и низкоаффинный Magnesium Green pentapotassium salt. Исследования проводились на изолированном нервно-мышечном препарате *m. Levator auris longus* мыши. Для оценки уровня кальция была разработана методика загрузки флуоресцентных красителей в нервном окончании теплокровных животных через культю нерва [8]. Константа диссоциации Oregon Green Bapta 1 hexapotassium salt для Ca^{2+} в отсутствии Mg^{2+} составляет 170 нМ, а константа диссоциации Magnesium Green pentapotassium salt – 1мкМ [9]. Основное различие двух используемых флуоресцентных зондов заключается во времени существования комплекса Ca^{2+}-красителя с ионами кальция. Регистрация Ca^{2+}-транзиента осуществлялась при помощи высокоскоростной камеры Neuro CCD SMQ (Redshirt Imaging).

При изменении частоты с 10Гц до 20Гц Ca^{2+}-транзиент, зарегистрированный в нервных окончаниях, загруженных высокоаффинным индикатором, увеличивался на 100% (рис. 1).

Время стимуляции составляло 60 секунд. Увеличение амплитуды кальциевого транзиента связано с накоплением ионов Ca^{2+} в нервном окончании во время высокочастотной стимуляции нерва. Увеличение частоты стимуляции до 50 Гц приводило к увеличению амплитуды кальциевого транзиента на 500%. Однако, дальнейшее увеличение частоты стимуляции до 70 и 100 Гц не приводило к увеличению Ca^{2+}-сигнала и отличалось от контрольного значения при частоте 10 Гц на 250 и 170 % соответственно.

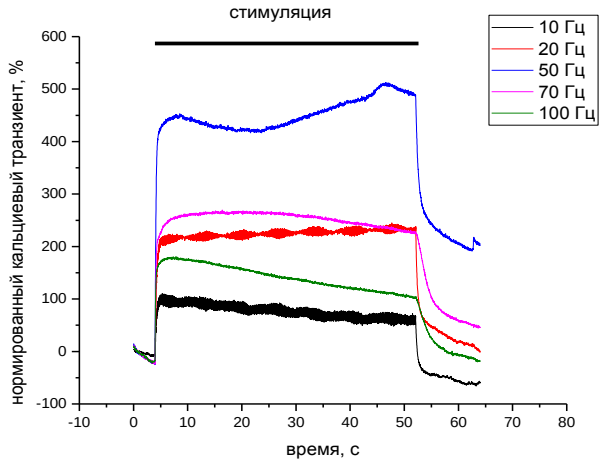


Рис. 1- Изменение амплитуды кальциевого транзиента, зарегистрированного в препарате, загруженном высокоаффинным Ca^{2+}-красителем, при частотах стимуляции двигательного нерва 10, 20, 50, 70, 100 Гц. Данные нормированы на максимальную амплитуду Ca^{2+}-транзиента при частоте стимуляции 10 Гц

Полученные экспериментальные данные могут свидетельствовать о том, что концентрация ионов кальция в терминали достигла своего пикового значения и больше не увеличивается с увеличением частоты стимуляции до 70 и 100 Гц. Также можно предположить, что высокоаффинный кальциевый краситель может испытывать «насыщение» в условиях, когда все молекулы красителя образовали комплекс с ионами Ca^{2+}. В этом случае высокоаффинный индикатор не может корректно отражать изменение концентрации кальция при высоких частотах стимуляции.

Для проверки этого предположения использовался низкоаффинный краситель. По данным литературы, низкоаффинный индикатор более корректно отражает пресинаптический уровень ионов Ca^{2+} при повышенной частоте стимуляции [10]. На рисунке 2 видно изменение Ca^{2+}-транзиента, при тех же частотах стимуляции, зарегистрированное в препарате, загруженным низкоаффинным кальциевым красителем.

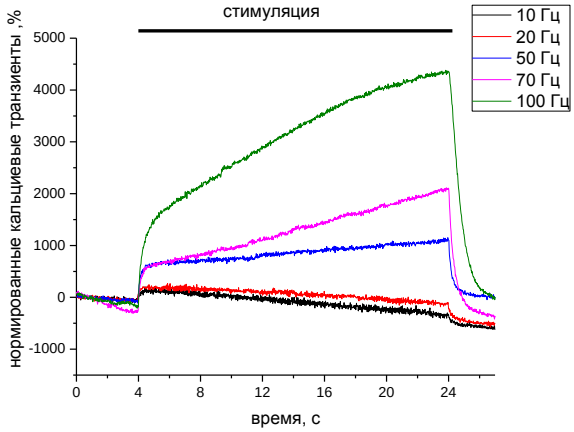


Рис. 2- Изменение амплитуды кальциевого транзиента, зарегистрированного в препарате, загруженным низкоаффинным Ca^{2+}-красителем, при частотах стимуляции двигательного нерва 10, 20, 50, 70, 100 Гц. Данные нормированы на максимальную амплитуду Ca^{2+}-транзиента при частоте стимуляции 10 Гц

При увеличении частоты стимуляции с 20 до 100 Гц амплитуда кальциевого транзиента, зарегистрированного в нервных окончаниях, загруженных низкоафинным кальциевым красителем, увеличивалась пропорционально частоте стимуляции. Причем увеличение амплитуды Ca^{2+}-транзиента было более значительным, чем в препарате, загруженным высокоаффинным Ca^{2+}-красителем. При увеличении частоты стимуляции с 10 до 50, 70 и 100 Гц кальциевый транзиент увеличивался на 900%, 1800% и 4200%, соответственно. Таким образом, кальциевые транзиенты, зарегистрированные в препарате, загруженным высокоаффинным кальциевым красителем при повышенных частотах стимуляции, некорректно отражали динамику ионов кальция в пресинаптической клетке. Это свидетельствует о том, что при изучении динамики ионов кальция в нервных окончаниях при высокочастотной стимуляции двигательного нерва более предпочтительно использовать низкоаффинный Ca^{2+}-краситель.

Работа поддержана грантами: РФФИ № 16-04-01051; № 16-34-00817, Президиума РАН "Механизмы интеграции молекулярных систем при реализации физиологических функций". Работа частично выполнена за счет средств субсидии, выделенной в рамках государственной поддержки Казанского (Приволжского) федерального университета в целях повышения его конкурентоспособности среди ведущих мировых научно-образовательных центров.

Список литературы

1. *Sherrington, C.S.* The Integrative Action of the Nervous System. 1906 // Reprint, Yale University Press, New Haven, CT, 1966
2. *Smith, S.J.* Calcium ions, active zones and synaptic transmitter release / S.J. Smith, G.J. Augustine // Trends Neurosci. – 1988. № 11. – P. 458–464.
3. *Katz, B.* The effect of calcium on acetylcholine release from motor nerve terminal / B. Katz, R. Miledi. // Proceedings of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences – 1965. Vol. 161, № 985. – P. 496-503.
4. *Unwin, N.* Nicotinic acetylcholine receptor at 9A resolution // J. Mol. Biol – 1993. № 229. – P 1101-1124.
5. *Tazerart, S., Vinay L, Brocard F.* The persistent sodium current generates pacemaker activities in the central pattern generator for locomotion and regulates the locomotor rhythm // J. Neurosci. 2008. Vol. 28, № 34. P. 8577–8589
6. *Grynkiewicz, G., Poenie M., Tsien R.Y.* A new generation of Ca2+ indicators with greatly improved fluorescence properties // J Biol Chem. 1985. Vol. 260, № 6. P. 3440-3450
7. *Haugland, R.P.* Indicators for Ca2+, Mg2+, Zn2+ and other metal ions // In: Handbook of fluorescent probes and research products. Gregory, J., ed. Molecular Probes. Eugene, Oregon, 2002. – P.771-826
8. *Samigullin, D.V* Calcium transient registration in response to single stimulation and during train of pulses in mouse neuromuscular junction // BioNanoSci. 2016. Vol. 7, №1. P. 162-166, doi:10.1007/s12668-016-0318-6
9. https://www.thermofisher.com/order/catalog/product/M3735 (дата обращения 10.06.2017).
10. *Vyshedskiy, A., Lin, J.W.* Presynaptic Ca2+ influx at the inhibitor of the crayfish neuromuscular junction: a photometric study at a high time resolution // J. Neurophysiol. 2000. №83. P. 552-562

05.11.00

Е.В. Субботин, С.В. Ершов, А.Д. Слободчиков

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
электротехнический факультет,
кафедра «Конструирование и технологии в электротехнике»,
e.subbotin81@mail.ru

РЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ТЕРМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МИНЕРАЛЬНО-СИНТЕТИЧЕСКИХ МАСЕЛ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-4-78-81

В работе проведены экспериментальные исследования реологических характеристик и термический анализ различных видов минерально-синтетических масел. Для указанных материалов изучен процесс изменения массы при равномерном нагреве, получены температурные зависимости динамической вязкости в интервале от минус 45°С до 150°С. Выполнен сравнительный анализ экспериментальных данных.

Ключевые слова: *минерально-синтетические масла, экспериментальные исследования, термогравиметрический анализ, реология.*

Особая значимость минерально-синтетических масел для современной техники обусловлена их широчайшей областью применения. Срок службы и надежность огромного количества машин и механизмов во многом определяются качеством масла, его характеристиками и их стабильностью в процессе длительной эксплуатации.

В данной работе были проведены комплексные экспериментальные исследования процессов изменения массы при равномерном нагреве и изменения вязкости в области высоких и низких температур для девяти различных видов минерально-синтетических масел.

Для оценки потери массы исследуемых материалов при воздействии высоких температур использовался метод термогравиметрического анализа [1]. В ходе эксперимента образцы подвергались нагреву до 200°С в атмосфере инертного газа со скоростью 10°С/мин. Результаты исследования представлены на рисунке 1 и в таблице 1.

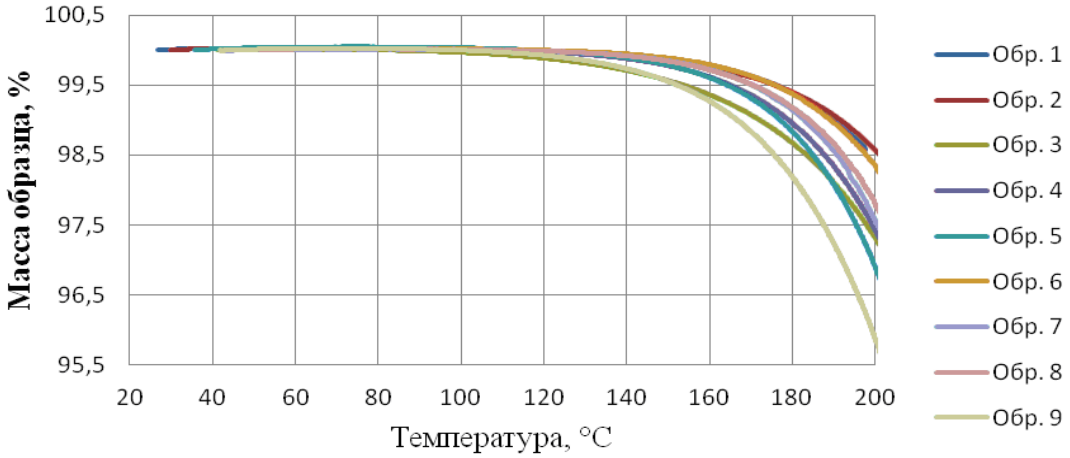


Рис. 1 – Кривые потери массы образцов минерально-синтетических масел

Таблица 1 – Потеря массы образцов минерально-синтетических масел

		Температура, °С					
	Номер образца	100	120	140	160	180	200
Потеря массы, %	1	0	0,011	0,07	0,221	0,61	1,417
	2	0	0,022	0,096	0,249	0,601	1,432
	3	0,036	0,117	0,29	0,638	1,236	2,684
	4	0	0,027	0,122	0,384	1,042	2,572
	5	0	0,005	0,109	0,393	1,161	3,095
	6	0	0,003	0,055	0,209	0,621	1,649
	7	0,002	0,019	0,084	0,279	0,854	2,434
	8	0	0,014	0,084	0,284	0,82	2,204
	9	0,002	0,076	0,266	0,729	1,809	4,12

По данным, приведенным в таблице 1, можно сделать вывод, что стойкость исследуемых масел к кратковременному воздействию высоких температур существенно отличается.

Для изучения реологического поведения исследуемых жидкостей при изменении температуры в работе использовался ротационный реометр [2].

В низкотемпературных экспериментах применялась измерительная система «плоскость-плоскость» [3] с радиусом окружности 12,5 мм и зазором между пластинами 1 мм. Измерение вязкости осуществлялось в режиме течения в температурном интервале от 20°С до минус 45°С при скорости охлаждения 5°С/мин. Результаты приведены на рисунке 2 и в таблице 2.

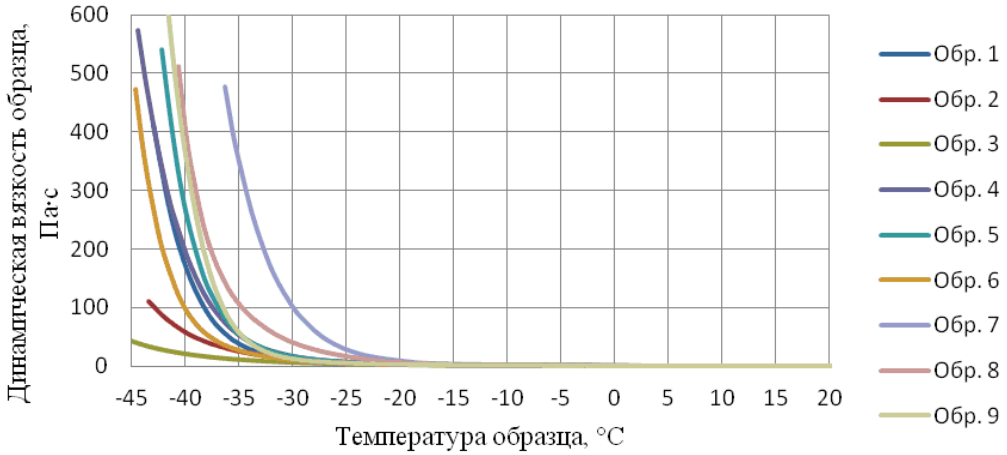


Рис. 2 – Изменение динамической вязкости исследуемых масел в области низких температур

Таблица 2 – Вязкость исследуемых масел в области низких температур

	Номер образца	Температура			
		20°С	-30°С	-35°С	-40°С
Динамическая вязкость, Па·с	1	0,1783	12,4949	37,4877	169,1930
	2	0,2133	12,5150	24,9190	57,0291
	3	0,1054	6,2868	11,2059	20,9299
	4	0,1612	16,9468	52,8216	194,5884
	5	0,1722	16,2679	55,3977	269,0372
	6	0,1432	10,9291	27,0143	99,0836
	7	0,2305	101,5044	349,7925	-
	8	0,1824	40,5463	106,8475	410,6182
	9	0,1476	12,3368	57,7973	367,4886

Для проведения сравнительного анализа и более полной оценки поведения исследуемых жидкостей в зависимости от температуры, помимо абсолютных значений (см. таблицу 2), необходимо учитывать изменение вязкости относительно величины, полученной при нормальных условиях (см. таблицу 3).

Таблица 3 – Относительное изменение вязкости масел при охлаждении

Номер образца	Относительное изменение динамической вязкости		
	-30°C/20°C	-35°C/20°C	-40°C/20°C
1	70	210	948
2	58	116	267
3	59	106	198
4	105	327	1206
5	94	321	1562
6	76	188	692
7	440	1517	-
8	222	585	2251
9	83	391	2489

Для изучения реологического поведения исследуемых образцов минерально-синтетических масел в области высоких температур применялась измерительная система «конус-плоскость» [3] с радиусом окружности 20 мм, углом конусности 1°. Величина зазора составляла 33 мкм. Измерение вязкости осуществлялось в режиме течения в температурном интервале от 30°C до 150°C при скорости нагрева 5°C/мин. Результаты представлены на рисунке 3 и в таблицах 4, 5.

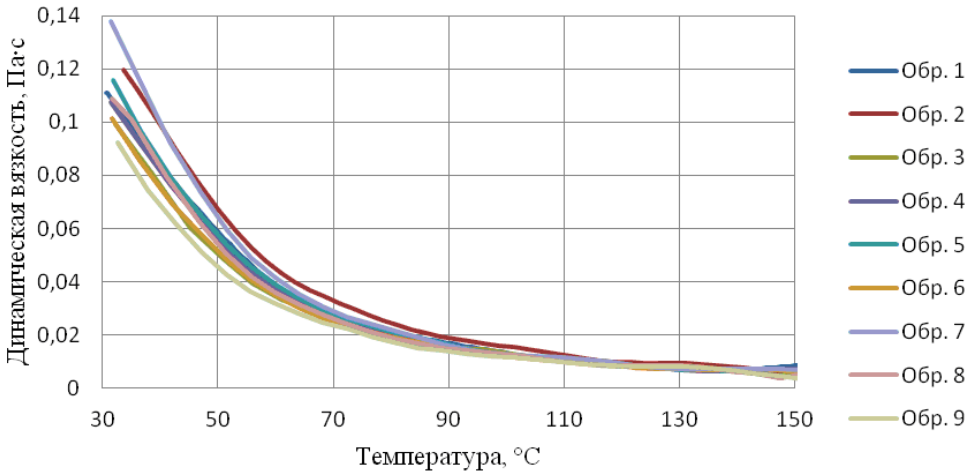


Рис. 3 – Изменение динамической вязкости исследуемых масел в области высоких температур.

Таблица 4 – Вязкость исследуемых масел в области высоких температур

	Номер образца	Температура					
		30°C	50°C	80°C	100°C	120°C	150°C
Динамическая вязкость, Па·с	1	0,11527	0,05876	0,02081	0,01321	0,00910	0,00842
	2	0,14210	0,06731	0,02444	0,01562	0,00983	0,00548
	3	0,11603	0,05026	0,01864	0,01330	0,00832	0,00548
	4	0,11480	0,05583	0,02102	0,01218	0,00937	0,00739
	5	0,11845	0,05750	0,02123	0,01273	0,00892	0,00685
	6	0,10884	0,05143	0,01938	0,01187	0,00838	0,00633
	7	0,14160	0,06455	0,02191	0,01252	0,00926	0,00686
	8	0,11021	0,05418	0,01896	0,01264	0,00852	0,00470
	9	0,09471	0,04571	0,01749	0,01175	0,00835	0,00364

Таблица 5 – Относительное изменение вязкости масел при нагреве

Номер образца	Относительное изменение динамической вязкости				
	30°С/50°С	30°С/80°С	30°С/100°С	30°С/120°С	30°С/150°С
1	1,96	5,54	8	12	13
2	2,11	5,81	9	14	25
3	2,31	6,22	8	13	21
4	2,06	5,46	9	12	15
5	2,06	5,58	9	13	17
6	2,12	5,62	9	12	17
7	2,19	6,46	11	15	20
8	2,03	5,81	8	12	23
9	2,07	5,42	8	11	26

Анализируя результаты выполненных экспериментальных исследований, можно отметить следующее:

1. Наиболее стойкими к кратковременному нагреву являются масла под номерами 1, 2 и 6, поскольку именно для данных образцов в температурном диапазоне от 100°С до 200°С наблюдается наименьшая потеря массы (см. таблицу 1).

2. Наилучшей стабильностью реологических характеристик в области высоких температур обладают образцы под номерами 1, 4, 5 и 6, так как вязкость указанных масел при нагревании до температуры 150°С снижается меньше (см. таблицы 4, 5).

3. Наименьший рост динамической вязкости для образцов минерально-синтетических масел под номерами 2, 3 и 6 при охлаждении до температуры минус 40°С говорит о более высокой стабильности реологических характеристик данных жидкостей в области отрицательных температур (см. таблицы 2, 3)

Подводя итог выполненной работы, можно сделать вывод, что при практическом использовании минерально-синтетических масел крайне важно учитывать условия их эксплуатации.

Список литературы

1. *Уэндландт У.* Термические методы анализа. М.: Мир, 1978. 527 с.
2. *Малкин А.Я., Исаев А.И.* Реология: концепции, методы, приложения. СПб.: Профессия, 2007. 560 с.
3. *Шрам Г.* Основы практической реологии и реометрии. М.: КолосС, 2003. 312 с.

05.11.00

Е.В. Субботин, С.В. Ершов, Д.И. Широков

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
электротехнический факультет, кафедра «Конструирование и технологии в электротехнике»,
Пермь, e.subbotin81@mail.ru

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ГИДРОФОБНЫХ ГЕЛЕЙ С ПОЛИМЕРНЫМИ ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННЫМИ МАТЕРИАЛАМИ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-4-82-85

В работе с помощью метода термогравиметрического анализа выполнены экспериментальные исследования процесса проникновения различных гидрофобных гелей в полимерные электроизоляционные материалы, применяющиеся в кабельной промышленности. Сделаны выводы о совместимости и практическом использовании сочетаний исследуемых материалов при производстве современных оптических кабелей.

Ключевые слова: *оптический кабель, полимер, гидрофобный гель, термогравиметрический анализ.*

В современном мире острая необходимость развития телекоммуникационных магистралей обусловлена динамично растущим спросом на информационные ресурсы и повышением объемов передаваемой информации [1]. Это обстоятельство оказывает существенное влияние на постоянно увеличивающуюся потребность в оптических кабелях, надежность которых во многом определяется качеством применяемых материалов и их взаимной совместимостью.

В данной работе с помощью метода термогравиметрического анализа [2, 3] была исследована возможность проникновения гидрофобных гелей в основные полимерные композиции, использующиеся при изготовлении оптических кабелей. Подобные процессы при длительном хранении и эксплуатации могут привести к значительному снижению технических характеристик изделия.

Эксперименты проводились для гидрофобных гелей марок Unigel 128FN, Indore OF06, Ergogel 100, Indore OF007 и полимерных композиций марок Borealis ME6052, Promvulk 23400, ПВХ ИТ-105. Образцы вышеуказанных полимерных материалов погружались в гидрофобный гель и выдерживались в нем 20 часов при температуре 80°С. После извлечения образцов производилось удаление остатков геля с их поверхности. Далее на термогравиметрическом анализаторе Discovery TGA были получены функциональные зависимости изменения массы от температуры для гидрофобных гелей, материалов Borealis ME6052, Promvulk 23400, ПВХ ИТ-105 до и после выдержки в гелях (см. рисунки 1-3).

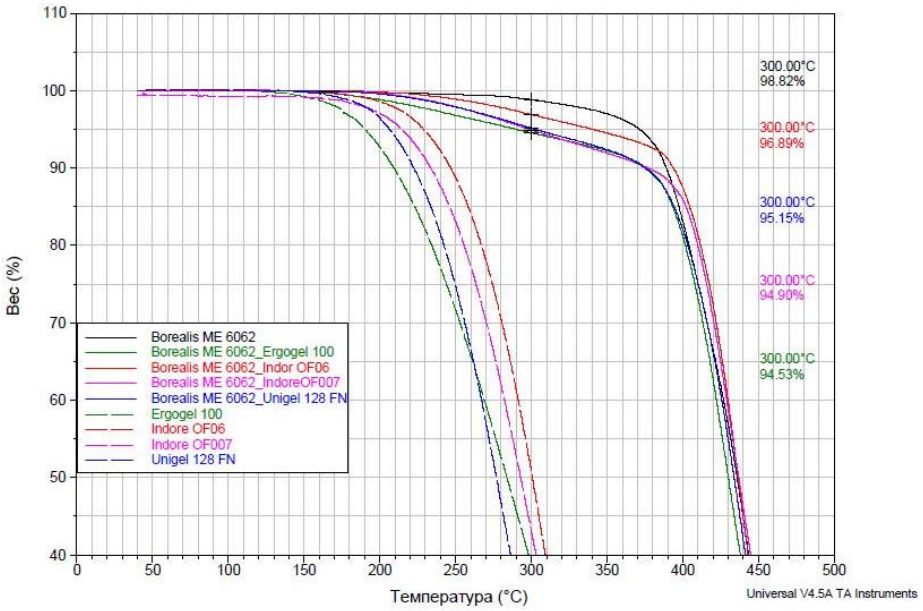


Рис. 1 – Кривые потери массы гидрофобных гелей и полимерного материала марки Borealis ME6052 до и после выдержки в геле

Из графиков, представленных на рисунке 1, видно, что кривые потери массы для образцов материала Borealis ME6052 выдержанных в гелях существенно отличаются от температурного профиля разложения чистого полимера. Это говорит о присутствии геля в образцах, подвергавшихся выдержке. По данным, приведенным в таблице 1, можно сделать вывод, что гидрофобный гель марки Ergogel 100 лучше всего проникает в полимер.

Таблица 1 – Потеря массы полимерного материала марки Borealis ME 6062 до и после выдержки в геле, при температуре 300°C

Материал		Чистый полимер	Borealis ME 6062 (Unigel 128FN)	Borealis ME 6062 (Indore OF06)	Borealis ME 6062 (Ergogel 100)	Borealis ME 6062 (Indore OF007)
Потеря массы по компонентам, %	Полимер	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18
	Гель	-	3.67	1.93	4.29	3.92
Общая потеря массы, %		1.18	4.85	3.11	5.47	5.1

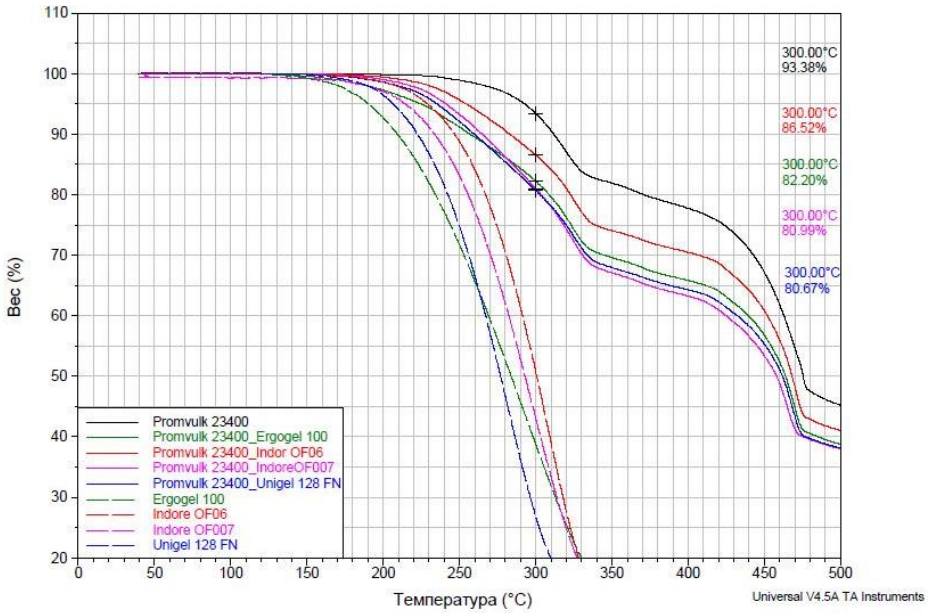


Рис. 2 – Кривые потери массы гидрофобных гелей и полимерного материала марки Promvulk 23400 до и после выдержки в геле

По графикам, приведенным на рисунке 2, видно, что в образцах полимерного материала Promvulk 23400 выдержанных в гелях также присутствует достаточное количество гидрофобного заполнителя. Из результатов, представленных в таблице 2, следует, что гидрофобный гель марки Unigel 128FN лучше всего взаимодействует с данным полимером.

Таблица 2 – Потеря массы полимерного материала марки Promvulk 23400 до и после выдержки в геле, при температуре 300°С

Материал		Чистый полимер	Promvulk 23400 (Unigel 128FN)	Promvulk 23400 (Indore OF06)	Promvulk 23400 (Ergogel 100)	Promvulk 23400 (Indore OF007)
Потеря массы по компонентам, %	Полимер	6.62	6.62	6.62	6.62	6.62
	Гель	-	12.71	6.86	11.18	12.39
Общая потеря массы, %		6.62	19.33	13.48	17.8	19.01

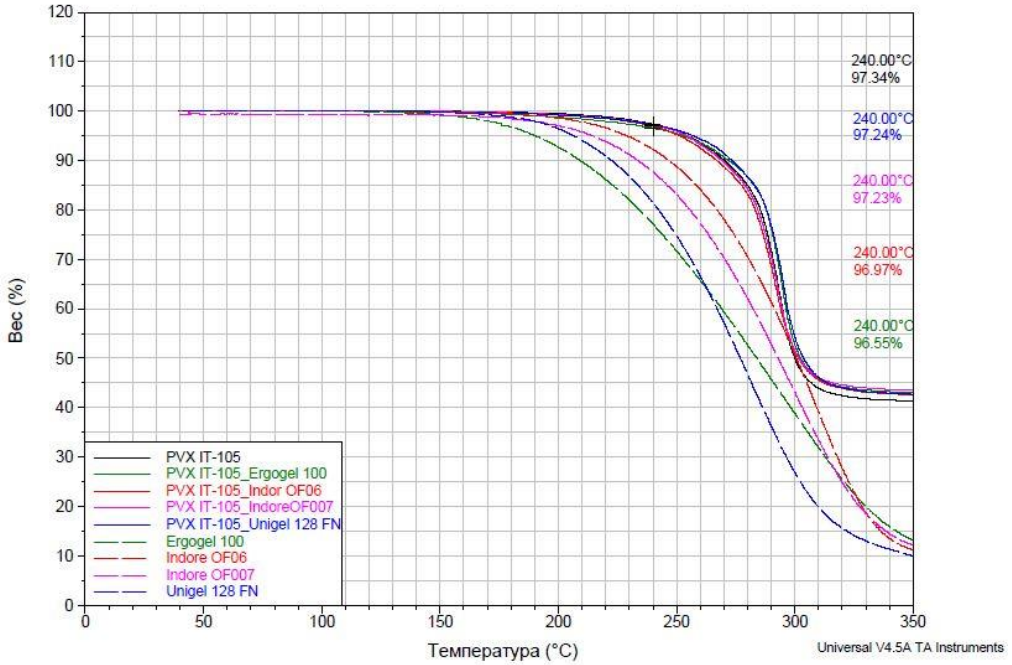


Рис. 3 – Кривые потери массы гидрофобных гелей и полимерного материала марки ПВХ ИТ-105 до и после выдержки в геле

Анализируя данные, представленные на рисунке 3, следует отметить, что для материала ПВХ ИТ-105, температурные профили разложения до и после выдержки в гелях практически не отличаются. Это говорит об отсутствии гидрофобных гелей в образцах исследуемого полимера, подвергавшихся выдержке. Количественная оценка результатов термогравиметрического анализа (см. таблицу 3) показала практически полное отсутствие впитывания гидрофобных заполнителей в данный полимерный материал.

Таблица 3 – Потеря массы полимерного материала марки ПВХ ИТ-105 до и после выдержки в геле, при температуре 240°С

Материал		Чистый полимер	ПВХ ИТ-105 (Unigel 128FN)	ПВХ ИТ-105 (Indore OF06)	ПВХ ИТ-105 (Ergogel 100)	ПВХ ИТ-105 (Indore OF007)
Потеря массы по компонентам, %	Полимер	2.66	2.66	2.66	2.66	2.66
	Гель	-	0.1	0.37	0.79	0.11
Общая потеря массы, %		2.66	2.76	3.03	3.45	2.77

На основании общего сравнительного анализа результатов проведенных экспериментальных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Полимерный материал марки ПВХ ИТ-105 практически не впитывает исследуемые гели. Это позволяет сделать вывод о том, что поливинилхлоридные пластикаты не взаимодействуют с гидрофобными заполнителями, применяющимися при производстве оптических кабелей.

2. Исследуемые марки гидрофобных заполнителей достаточно хорошо проникают в безгалогенную полимерную композицию на основе полиолефина марки Promvulk 23400 и в меньшей степени в полиэтилен марки Borealis ME 6062, также относящийся к классу полиолефинов. Это говорит о значительном влиянии структуры полимера на интенсивность процесса.

3. Заполнитель марки Indore OF06 в наименьшей степени взаимодействует с исследуемыми полимерными материалами, что указывает на зависимость интенсивности процесса от компонентного состава гидрофобного геля.

Таким образом, из всего вышеизложенного следует, что при производстве оптических кабелей для обеспечения их надежности в процессе длительной эксплуатации необходимо учитывать возможность взаимодействия гидрофобных заполнителей и полимерных материалов.

Список литературы

1. *Портнов Э.Л.* Оптические кабели связи. М.: ЦНТИ «Информсвязь», 2000. 112с.
2. *Шах В.* Справочное руководство по испытаниям пластмасс и анализу причин их разрушения. СПб.: Научные основы и технологии, 2009. 746 с.
3. ГОСТ Р 56721-2015. Пластмассы. Термогравиметрия полимеров. Часть 1. Общие принципы.

05.11.00

А.Е. Терлыч, А.С. Поздеева

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, электротехнический факультет, кафедра «Конструирование и технологии в электротехнике», Пермь, ktei@pstu.ru

ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ТОКОПРОВОДЯЩИХ ЖИЛ КАБЕЛЕЙ НЕПОСРЕДСРЕДСТВЕННО НА ЛИНИИ ПРОИЗВОДСТВА

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-4-86-89

Рассмотрены особенности измерения сопротивления токопроводящих жил кабелей непосредственно на линии производства. Исследованы недостатки существующих методов и предложен новый способ измерения сопротивления токопроводящих жил, обладающий рядом преимуществ.

Ключевые слова: *токопроводящая жила, сопротивление, измерение.*

При производстве кабельной продукции около 80% себестоимости изделия составляют затраты на сырье и материалы, поэтому их снижение является серьезным инструментом повышения конкурентоспособности продукции. Процесс изготовления токопроводящих жил (ТПЖ) кабелей в этом смысле представляет особый интерес. Межгосударственный стандарт ГОСТ 22483-2012 (IEC 60228:2004) [1], устанавливает требования к номинальному сечению токопроводящих жил электрических кабелей и в том числе к значению их электрического сопротивления. Поэтому при производстве ТПЖ приходится для экономии дорогостоящего металла добиваться минимального возможного сечения жилы так, чтобы ее электрическое сопротивление было не более, чем это определяется стандартом.

Одним из способов снижения затрат и обеспечения необходимого качества при производстве ТПЖ является постоянный контроль не только сечения жилы, но и величины ее электрического сопротивления.

На сегодняшний день существует специализированное оборудование для так называемого онлайн контроля сопротивления ТПЖ и своевременной соответствующей корректировки параметров технологического режима. В отличие от обычного способа измерения сопротивления ТПЖ, когда исследуемый образец вырезается из непрерывной жилы, исследуется в лаборатории, а затем корректируется технологический режим, при измерении непосредственно на линии, разрезания ТПЖ не требуется, что сокращает время измерения. Однако обычными методами измерения сопротивления ТПЖ, основанными на мостовом и косвенном методах [2, 3] в этом случае воспользоваться не удается. Проблема заключается в том, что при подключении измерителя к ТПЖ, проходящей через агрегаты технологической линии, образуется паразитное сопротивление, величина которого неизвестна и может изменяться. На рис. 1 показан механизм возникновения такого паразитного сопротивления, R_x – сопротивление ТПЖ на измерительном участке, $R_{зi}$ – паразитные сопротивления, возникающие вследствие того, что все элементы линии заземлены.

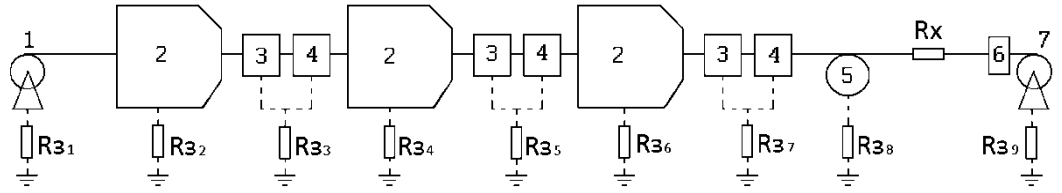


Рис. 1. Механизм возникновения паразитного сопротивления на машине скрутки: 1– отдающее устройство; 2 – крутильно-отдающее устройство; 3 – калибры; 4 – уплотняющие вальцы; 5 – тяговое устройство; 6 –оборудование для измерения длины и диаметра изделия; 7 – приёмное устройство.

На рис. 2 приведена эквивалентная схема измерительной установки. На схеме все паразитные сопротивления заменены суммарным общим сопротивлением $R_з$. Очевидно, что паразитное сопротивление, величина которого неизвестна, включено параллельно сопротивлению жилы R_x, что не позволяет определить R_x обычными методами.

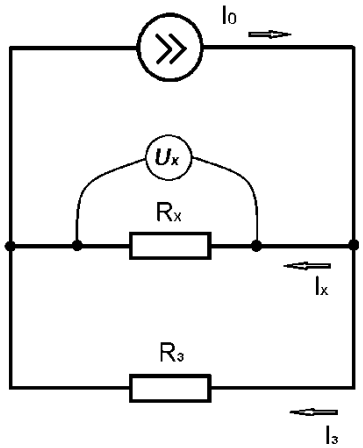


Рис. 2. Эквивалентная схема измерительной установки.

Так, например, компания AESA GmbH в серии своего измерительного оборудования ResTest использует индукционный нагрев проводника жилы на измерительном участке с целью определения величины паразитного сопротивления и его учета при определении сопротивления жилы. Измерение в этом случае выглядит следующим образом. На первом этапе измеряется текущая температура T жилы и определяется падение напряжения U_x на измерительном участке при протекании через сопротивление жилы R_x и паразитное сопротивление $R_з$ токов от источника тока I_0. На втором этапе производится нагрев ТПЖ индукционными токами и повторное измерение температуры жилы T' и падения напряжения U'_x. Суммарное сопротивление R_Σ на участке измерения образуется параллельно соединенными $R_з$ и R_x:

$$R_\Sigma = \frac{1}{1/R_x + 1/R_з}.$$

Падения напряжения на измерительном участке, полученные на первом и втором этапе измерения, соответственно:

$$\begin{cases} U_x = I_0 R_\Sigma \\ U'_x = I_0 R'_\Sigma \end{cases}.$$

Учитывая изменение сопротивления проводника от температуры:

$$R_x = R_0(1+\alpha(T-T_0)),$$

где R_0 – сопротивление проводника при температуре T_0, α – температурный коэффициент сопротивления, можно записать:

$$R'_x = R_0(1+\alpha(T'-T_0)) = R_x\frac{1+\alpha(T'-T_0)}{1+\alpha(T-T_0)},$$

или:

$$R'_x = R_x k, \text{ где } k = \frac{1+\alpha(T'-T_0)}{1+\alpha(T-T_0)}.$$

Отношение падений напряжения на измерительном участке при разных температурах:

$$\frac{U_x}{U'_x} = \frac{R_з/R'_x + 1}{R_з/R_x + 1},$$

позволяет выразить паразитное сопротивление:

$$R_з = \frac{R_x(U'_x - U_x)}{U_x - U'_x / k}. \quad (1)$$

Ток источника тока I_0 разветвляется на два тока, один из которых протекает через жилу I_x, а второй $I_з$ – через паразитное сопротивление:

$$I_0 = I_x + I_з = \frac{U_x}{R_x} + \frac{U_x}{R_з}.$$

Подставив (1) в последнее выражение можно записать:

$$I_0 = \frac{U_x}{R_x}\left(1 + \frac{U_x - U'_x / k}{U'_x - U_x}\right),$$

а отсюда выразить искомое сопротивление жилы на измерительном участке: $R_x = \frac{U_x}{I_0}\left(1 + \frac{U_x - U'_x / k}{U'_x - U_x}\right)$.

Таким образом, зная ток источника тока, температурный коэффициент сопротивления материала ТПЖ и падения напряжения на измерительном участке при двух различных температурах жилы можно определить сопротивление ТПЖ при исходной температуре вне зависимости от величины паразитного сопротивления.

Представленный метод измерения сопротивления ТПЖ технически довольно сложен, что приводит к весьма высокой стоимости подобного оборудования, поэтому на многих кабельных предприятиях такое измерительное оборудование не используется.

Погрешность такого метода измерения будет сильно зависеть от погрешности измерения температуры жилы. На рис. 3 приведен анализ зависимости относительной погрешности определения сопротивления ТПЖ от степени ее нагрева $\Theta = T' - T$ при погрешностях измерения температуры жилы 0,1 и 1°С. Очевидно, что для уменьшения погрешности определения сопротивления ТПЖ в оборудовании компании AESA GmbH, необходимо прибегать к значительному нагреву ТПЖ. Приведенные на рис. 3 зависимости не учитывают неоднородностей температурного поля в жиле, возникающие при нагреве и охлаждении, которые также должны приводить к дополнительному росту погрешности.

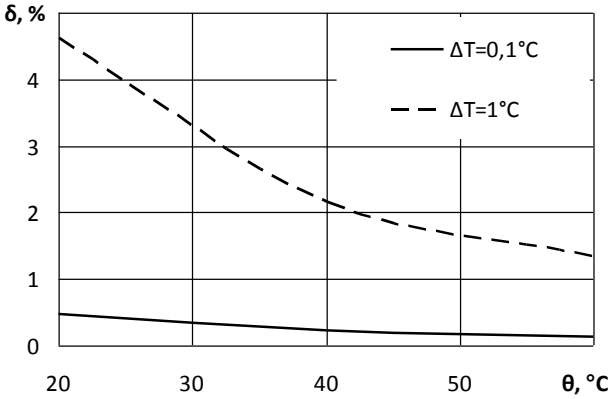


Рис. 3. Зависимости относительной погрешности определения сопротивления ТПЖ от степени ее нагрева при погрешностях измерения температуры жилы 0,1 и 1°С.

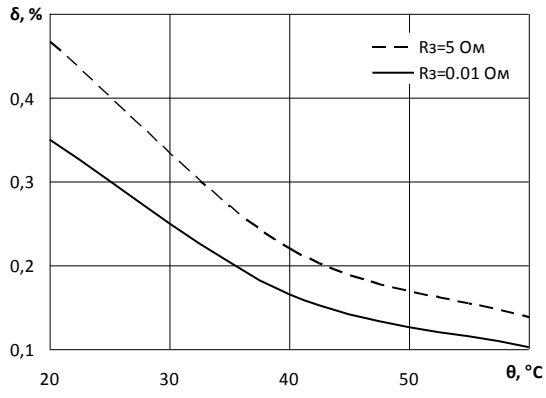


Рис. 4. Зависимости относительной погрешности определения сопротивления ТПЖ от степени ее нагрева для различных величин паразитного сопротивления $R_з$ при ΔT=0,1°С.

На рис. 4 представлена зависимость влияния величины паразитного сопротивления $R_з$ на относительную погрешность определения сопротивления ТПЖ в зависимости от степени ее

нагрева при погрешности измерения температуры ΔT=0,1 °C. Как видно из графика, при изменении величины паразитного сопротивления почти на два порядка, погрешность определения сопротивления жилы изменяется приблизительно на 0,1%.

В представленной работе предложен иной метод измерения сопротивления ТПЖ кабелей непосредственно на линии производства, отличающийся простотой и доступностью. Суть метода заключается в использовании двух измерительных участков вместо одного, что позволяет учесть паразитное сопротивление, не прибегая к нагреву ТПЖ. На рис. 5 показана эквивалентная схема измерителя. В измерителе имеются два одинаковых по длине измерительных участка R_{x1} и R_{x2}, что обеспечивает на относительно коротком отрезке ТПЖ равенство этих сопротивлений. Очевидно, что $I_0 = I_x + I_з$. Нетрудно заметить, что $I_x = \frac{U_1}{R_{x1}}$, а $I_з = \frac{U_2}{R_{x2}}$, тогда: $I_0 = \frac{U_1}{R_{x1}} + \frac{U_2}{R_{x2}}$.

Считая, что $R_{x2} = R_{x1}$ можно определить искомое сопротивление ТПЖ на участке измерения: $R_x = \frac{U_1 + U_2}{I_0}$.

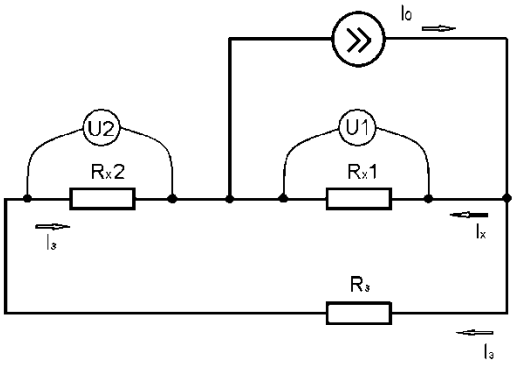


Рис. 5. Эквивалентная схема измерителя.

Погрешность определения сопротивления в предложенном способе будет зависеть только от точности используемых измерительных приборов и неоднородности сопротивлений измерительных участков R_{x1} и R_{x2}.

К достоинствам представленного метода стоит отнести его простоту и дешевизну. Для реализации метода необходимы два милливольтметра и прецизионный источник тока. Измерение можно провести точнее и гораздо быстрее, чем в предыдущем методе, так как не требуется нагревать жилу и ожидать выравнивания температурных полей. Более того, данный метод позволяет при использовании скользящих контактов проводить непрерывное измерение сопротивления однопроволочных жил без остановки линии, например, непосредственно перед операцией изолирования, что может способствовать снижению количества брака при производстве кабелей и проводов.

Список литературы

1. ГОСТ 22483-2012 (IEC 60228:2004) Жилы токопроводящие для кабелей, проводов и шнуров (с Поправкой) – Взамен ГОСТ 22483-77; введ. 2014.01.01. – Москва: Всероссийский научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт кабельной промышленности; Москва: Стандартинформ, 2014.-19с.
2. Средства измерений. В.Ю. Шишмарев, 4-е издание, «Академия», 2010г., С.282.
3. Электрические измерения: Учебник для вузов / Байда Л.И., Добротворский Н.С. и др. Под ред. А.В.Фремке и Е.М.Душина. – 5-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергия. Ленинградское отделение, 1980 г.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ (05.13.00)

05.13.18

[1]И.А. Акимов д.т.н., [2]В.Н. Абузяров

[1]«Оренбургский государственный педагогический университет»,
кафедра математического анализа и методики преподавания математики,
[2]Филиал Московского технологического института «МТИ» в г. Оренбурге,
кафедра «Информатика и автоматизация»,
Оренбург, akimov_ia@mail.ru, it@mti_orenburg.ru

НЕСТАЦИОНАРНАЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ В СЛОЯХ С НЕИДЕАЛЬНЫМ КОНТАКТОМ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-4-90-92

В работе представлена задача нестационарной линейной теплопроводности через n – слойную цилиндрическую поверхность. Рассмотрен путь преобразования нелинейной задачи в систему линейных краевых задач.

Ключевые слова: *сложный композиционный материал, нестационарная линейная теплопроводность, цилиндрическая поверхность, ограждающие конструкции, система интегральных уравнений.*

Рассмотрим сложный композиционный материал (КМ), состоящий из n слоев разделенных n-1 границами, на которых заданы условия сопряжения. Рассмотрим задачу нестационарной линейной теплопроводности через n – слойную цилиндрическую поверхность, в которой теплопроводности слоев различны, а контакты между слоями неидеальны.

Рассмотрим многослойную цилиндрическую стенку в соответствии с рисунком 1.

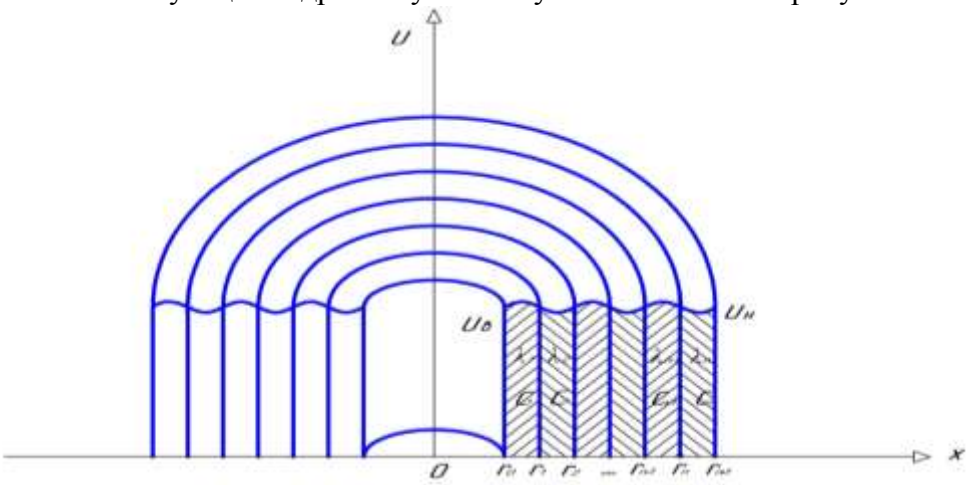


Рис. 1 – К расчету теплопроводности через n – слойную цилиндрическую стенку с неидеальным контактом.

Для первого этапа производства ограждающих конструкций методом полимеризации при условии

$$\lambda_i = \lambda\left(U_i\right)$$

задача сводится к системе интегральных уравнений Вольтера [1].

Предположим, что коэффициенты теплопроводности λ_i зависит от температуры по формулам

$$\lambda_i = \lambda_{0i} = \lambda_{0i}(1 + E_i U_i), \ (i = 1,2,..., n+1) \tag{1}$$

где E_i – малые параметры, U_i – температура слоев.

Решение задачи приводит к системе интегральных уравнений Вольтерра 2 рода типа свертки относительно неизвестных тепловых потоков q_i *(i = 1,2, ...,n)* на внутренних границах слоев.

Математическая формулировка задачи имеет вид.

$$C_i \frac{\partial U_i(r_i, \tau)}{\partial t} = \partial i \upsilon[\lambda_i \nabla U_i(r_i \tau)], \tau \rangle 0$$

С НУ: $$U_i(r, 0) = \varphi_i(r);$$

ГУ:

$$\lambda_i \frac{\partial U_i}{\partial \tau} + \alpha^{(b)}\left(U_i - U_c^{(b)}\right)/_{r=r_0} = 0; \tag{2}$$

$$\lambda_{n+1} \frac{\partial U_{n+1}}{\partial \tau} + \alpha^{(H)}\left(U_{n+1} - U_c^{(H)}\right)/_{r=r\,n+1} = 0, \tag{3}$$

где C_i – объемная теплоемкость материала i – слоя; $r_0, ...r_i, ..., r_{n+1}$

расстояние в направлении радиусов соответственно к внутренним границам первого слоя $r_0, ..., i-го$ слоя … и наружной границы $(n+1)$ слоя. Введем неизвестные тепловые потоки q_i на границах между слоями $(i = 1,2,..., n)$, которые удовлетворяют условиям

$$q_i(\tau) = \frac{1}{R_i}(U_i + 1 - U_i)/_{r=r_i} \tag{4}$$

$$q_i(\tau) = \lambda_i \frac{\partial U_i}{\partial r}/_{r=r_i} = \lambda_{i+1} \cdot \frac{\partial U_{i+1}}{\partial r}/_{r=r_i}. \tag{5}$$

Здесь R_i – известные контактные сопротивления, которые полагаем постоянными.

Решение нелинейной задачи (2), (3) ищем в виде

$$U_i = U_{i0} + \sum_{k=1}^{n+1} E_k U_{ik}, \ (i = 1,2,..., n+1) \tag{6}$$

Для определения температуры в i – *ом* слое предполагаем, что малые параметры E_k имеют степень не выше первой.

Таким путем нелинейные задачи расщепляются на систему линейных краевых задач. На этом основании можно полагать, что тепловые потоки q_i включают составляющие обусловленные решением соответствующих линейных задач теплопроводности, в которых коэффициенты теплопроводности являются постоянными $(\lambda_i = \lambda_{oi})$, и аддитивные нелинейные слогаемые, которые возникают в каждом слое:

$$q_i(\tau) = q_{i0}(\tau) + \sum_{k=1}^{n+1} E_k \varphi_{ik}(\tau). \tag{7}$$

Полагая q_{i0} известными функциями времени, из системы (7) получаем n+1 дифференциальных уравнений нулевого приближения, два из которых имеют смешанные граничные условия второго и третьего рода и $n-1$ уравнений с граничными условиями второго рода.

Применяя к этим уравнениям метод конечных интегральных преобразований Ханкеля по переменной r [2] , приводим каждое из них к обыкновенным дифференциальным уравнениям с постоянными коэффициентами, решение которых имеет вид

$$U_{ij}^0 = \int_0^\tau e^{-\delta_{ij}^{(\tau-\omega)}} \cdot \left[a_{ij} q_{i,0}(\omega) - b_{ij} q_{i-1}(\omega)\right] d\omega + e^{-\delta_{ij}^{\tau}} \cdot \rho_{ij}^0 \tag{8}$$

Здесь $\delta_{ij}^0 = \frac{\lambda_{0\tau}}{c_i} \cdot S_{ij}^2$, ($S_{ij}^2$ – собственные значения соответствующих задач Штурма – Лиувилля),

$a_{ij}\dfrac{r_i K_i^j(r_i)}{\lambda_{0i}}$, $b_{ij}=\dfrac{r_{i-1}K_i^j r}{\lambda_{0i}}$, ρ_{ij}^0 – интегральные преобразования начальных условий нулевого приближения $\varphi_i(r)$ с ядром $K_i^j(r)$, которые являются решениями соответствующих задач Штурма – Лиувилля и в рассматриваемом случае имеет вид

$$K_i^j = A_i^j\varphi_0(S_{ij}r)+B_i^j Y_0(S_{ij},r),$$

где A_i^j, B_i^j – постоянные, φ_0, Y_0 – соответственно функции Бесселя первого и второго рода нулевого порядка. Аналогично находятся выражения для последующих приближений.

Используя условия (4), (5) сводим задачу к системе интегральных уравнений Вольтерра типа свертки относительно неизвестных функций

$$q_i^l(\tau)=\sum_{k=1}^{n}\int_0^{\tau}M_{ik}(\tau-\omega)q_k^l(\omega)q_k^l(\omega)d\omega+\beta_i^l(\tau). \tag{9}$$

Элементы образуют матрицу Якоби ядер $n-го$ порядка и определяются выражениями

$$\boldsymbol{M_{i,i-1}=\frac{1}{R_i}\sum_{j=1}^{\infty}b_{ij}K_i^j(r_i)e^{-\delta_{ij}^{(\tau-\omega)}}};$$

$$M_{ii}=-\frac{1}{R_i}\sum_{j=1}^{\infty}\left[a_{ij}K_i^j(r_i)e^{-\delta_{ij}^{(\tau-\omega)}}+b_{i+1,j}K_{i+1}e^{-\delta_{i+1,j}(\tau-\omega)}\right];$$

$$M_{i,i+1}=\frac{1}{R_i}\sum_{j=1}^{\infty}a_{i+1,j}K_{i+1}^j(r_i)e^{-\delta_{i+1,j}(\tau-\omega)}.$$

Далее

$$\beta_i^l=\frac{1}{R_i}\sum_{j=1}^{\infty}\Big[\rho_{i+1,j}^l\cdot K_{i+1}^j(r_i)\cdot e^{-\delta_{i+1,j}\tau}-\rho_{ij}^l K_i^j(r_i)\cdot e^{-\delta_{ij}^{\tau}}+\delta_i^1 C_{ij}K_1^j(r_1)\cdot\int_0^{\tau}e^{-\delta_{ij}^{(\tau-\omega)}}d\omega+$$

$$+\delta_i^n C_{2j}K_{n+1}^j(r_n)\int_0^{\tau}e^{-\delta_{i+1,j}(\tau-\omega)}d\omega\Big]\cdot$$

Здесь δ_i^1,δ_i^n – символы Кронеккера

$$C_{1j}=\frac{h^{(b)}U_c^{(b)}r_0K_1^j(r_0)}{\lambda_{01}},\quad C_{2j}=\frac{h^{(H)}U_c^{(H)}r_{n+1}K_{n+1}^j(r_{n+1})}{\lambda_{0,n+1}}.$$

Матрица $\|M_{ik}\|=M$ инвариантна относительно всех приближений.

Решая систему интегральных уравнений (9), получим

$$q_i^l(\tau)=\beta_i^l(\tau)+\sum_{k=1}^{n}\int_0^{\tau}M_{ik}(\tau-\omega)\beta_k^i(\omega)d\omega+\sum_{k=1}^{n}\int_0^{\tau}\left(M\cdot\overset{0}{M}\right)_{ik}\beta_i^k(\omega)d\omega+..., \tag{10}$$

где $M\cdot\overset{0}{M}$ – матрица свертки ядер.

Формула (10) является окончательным выражением определения неизвестных потоков на границах.

Подставляя соотношение (10) в (6) с учетом (8) получаем температурное поле во всех слоях цилиндра.

Список литературы

1. *И.М. Федоткин*. Математическое моделирование технологических процессов / И.М. Федоткин. – М: URSS, 2015. – с. 342.

2. *И.А. Акимов.* Исследование теплопередачи в многослойных цилиндрических изделиях на первом этапе производства композиционных материалов / И.А. Акимов, А.И. Акимов, Е.О. Каракулина // научно-технический вестник Поволжья. N2 2015г. – Казань: Научно-технический вестник Поволжья, 2015. – с. 68.

05.13.06

Н.В. Андриевская, Н.В. Павлов

ФГБОУ ВО "Пермский национальный исследовательский политехнический университет",
Электротехнический факультет,
кафедра Микропроцессорных средств автоматизации,
Пермь, nataly-anv@mail.ru

АНАЛИЗ ВЗАИМНОГО ВЛИЯНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-4-93-95

Сформулированы проблемы качества электрической энергии, Выделены основные показатели качества электроэнергии. Разработан алгоритм исследования взаимного влияния показателей качества электроэнергии на основе линейного регрессионного анализа. Приведены результаты исследований.

Ключевые слова: *показатели качества электроэнергии, линейный регрессионный анализ, коэффициент множественной корреляции, критерий Фишера, адекватность моделей.*

В настоящее время предъявляются все более жесткие требования к стабильной и энергоэффективной работе сетей электроснабжения основного энергетического оборудования промышленных комплексов [1]. Данный вопрос неразрывно связан с качеством электроэнергии. Несмотря на техническое совершенствование устройств и оборудования, система контроля и регулирования качества электроэнергии обладает двумя существенными недостатками [2]: во-первых, недостаточная степень автоматизации, во-вторых, «не системность», то есть не согласованность отдельных компонентов в работе, что может привести к ситуациям, когда деятельность одного устройства по компенсированию какого-либо показателя качества, немедленно приводит к ухудшению другого. Решением данной проблемы видится разработка способов автоматизированного контроля и регулирования качества электрической энергии, позволяющие в режиме реального времени отслеживать качество электрической энергии и осуществлять мгновенное регулирование для достижения требуемого уровня качества. Таким образом, возникает необходимость в исследовании функциональной взаимосвязи между показателями качества электроэнергии.

В общем случае под показателями качества электроэнергии (ПКЭ) в многофазной системе подразумеваются [2]: отклонения частоты; колебания частоты; отклонения напряжения; размах изменения напряжения; несимметрия напряжения; несинусоидальность напряжения.

Задача поиска зависимости между показателями качества энергии можно различными способами: интерполяционными формулами, корреляционный анализ [3], регрессионный анализ [4], моделей нечеткой логики и искусственных нейронных сетей. Однако, при выборе следует руководствоваться условиями в которых решается данная задача и требованиями, выдвигаемыми к модели.

Для оценки взаимосвязи между показателями качества энергии выбран регрессионный анализ, который отличается хорошо проработанной базой методов исследования, позволяющей не только оценить функциональную зависимость между показателями, но и оценить адекватность модели в различных аспектах: оценить степень взаимосвязи между параметрами, адекватность модели в целом и значимость отдельных коэффициентов модели. Кроме того, регрессионный анализ предлагает относительно простые виды моделей, использование которых в системе автоматизированного контроля и регулирования качества электрической энергии предпочтительнее других методов.

При оценке выбор осуществляется в пользу полиномов произвольного порядка. Такие зависимости значительно облегчают процесс вычислений и соответственно ускоряют работу автоматизированной системы в целом.

Для оценки функциональной зависимости между показателями предлагается следующая методика [5]:

1. Анализ экспериментальных данных.

2. Установление факта существования взаимосвязи между показателями. Данный этап легко реализуется оценкой коэффициента множественной корреляции [5]:

$$R^2=S^2_R/S^2_{ост}$$

Где $S^2_R=Q_R / \nu_R$ - дисперсия, обусловленная регрессией; $S^2_{ост} = Q_{ост} / \nu_{ост}$- остаточная дисперсия; $Q_R = \sum_{i=1}^{m} (\hat{y}_u - \bar{y})^2$ - сумма квадратов, обусловленная регрессией; ν_R=(n+1)-1=n - число степеней свободы суммы квадратов, обусловленных регрессией; $Q_{ост} = \sum_{i=1}^{m} (y_i - \hat{y}_i)^2$ - остаточная сумма квадратов; $\nu_{ост}=m - n - 1$ - число степеней свободы остаточной суммы квадратов; y_i, $\hat{y}_u$, $\bar{y}$ - наблюдаемый выходной параметр (экспериментальный); выход регрессионной модели; среднее значение наблюдаемого выходного параметра; n- порядок модели; m - количество точек эксперимента. Задаваясь уровнем значимости α и числами степеней свободы, по таблице Фишера определяется коэффициент $F_T(\alpha,\nu_R,\nu_{ост})$. Если $R^2 > F_T$, то коэффициент множественной корреляции значим, его нельзя объяснить только случайным возмущениями, что означает, что в между рассматриваемыми параметрами y и x_i существует зависимость.

3. При наличии взаимосвязи осуществить выбор моделей в виде полиномов методом наименьших квадратов (МНК).

4. Адекватность моделей определяется критерием Фишера. Для этого проводится в некоторой точке дополнительные l наблюдений. Рассчитывается коэффициент:

$$F=S^2_{ост}/S^2_{доп},$$

где $S^2_{доп} = \sum_{i=1}^{l}(y_{допi} - \overline{y_{доп}})^2$ сумма квадратов дополнительных опытов; $\nu_{доп}=l$ - 1 степень свободы дополнительных опытов. Задаваясь уровнем значимости α и числами степеней свободы, по таблице Фишера определяется коэффициент $F_T(\alpha,\nu_{ост},\nu_{доп})$. Если $F < F_T$, то модель адекватна.

В качестве примера рассматривается пара параметров качества электроэнергии (ПКЭ): коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения фазы В K_{Ub}, %; коэффициент 3-ей гармонической составляющей напряжения фазы В, $K_{Ub(3)}$. Для того, чтобы убедиться, что пара ПКЭ действительно зависит друг от друга, была построена линейная модель методом МНК: y=0.73-0.23x. 3. Коэффициент множественной корреляции R^2=5.74 больше табличного F_T=3.89, следовательно, пара ПКЭ действительно имеют некоторую зависимость.

Моделирование исходных данных и линейной модели представлено на рис. 1.

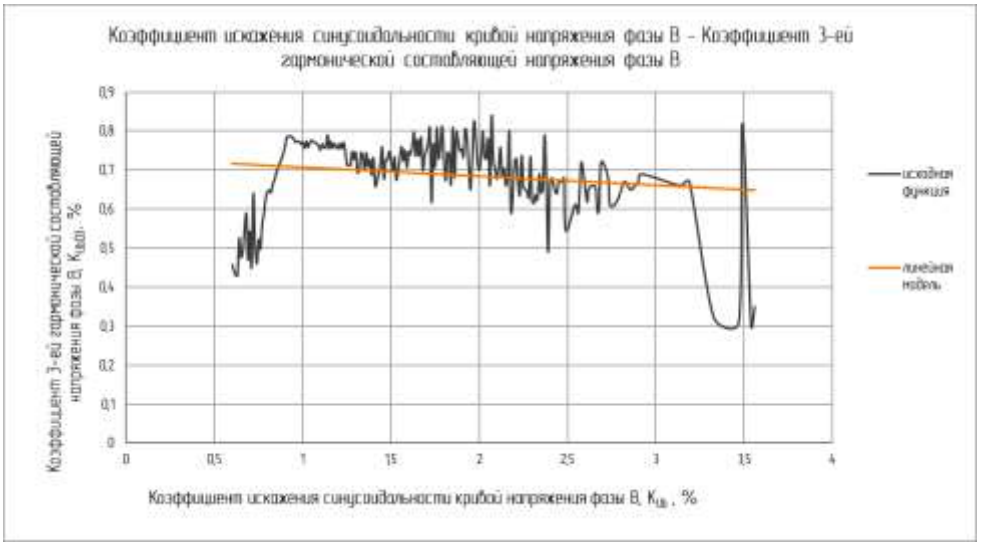


Рис 1 - Исходные данные и моделирование линейной функции.

Для исследования зависимостей были рассчитаны модели 1-4-го порядков. На рис. 2 представлены результаты моделирования всех моделей.

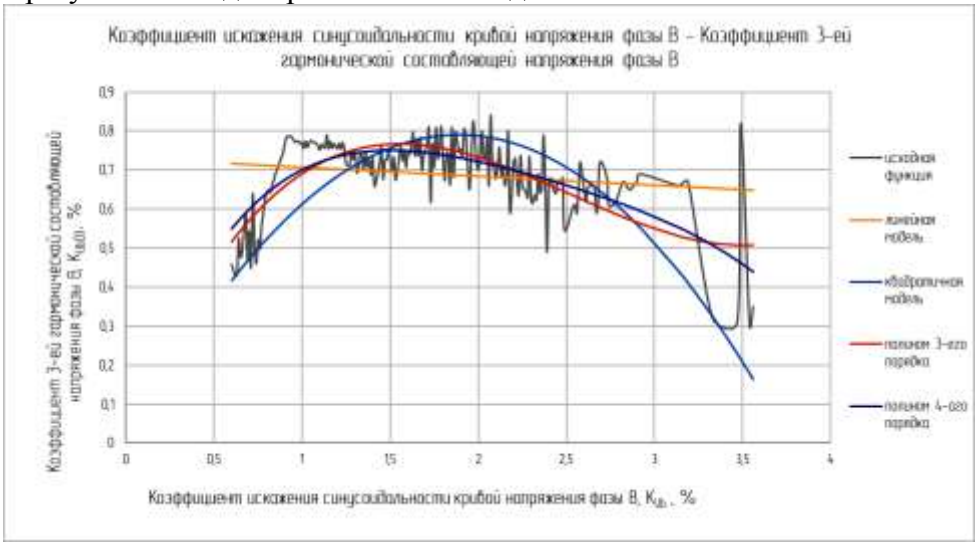


Рис. 2 - Результаты моделирования

Оценка адекватности моделей проводилась для серии дополнительных опытов, включающей в себя 58 значений в точки, Результаты проверки сведены в таблицу 1. Табличный коэффициент критерия Фишера – 1.14. Очевидно, только линейная модель не является адекватной.

Таблица 1 – Модели взаимозависимости пары ПКЭ K_{Ub} и $K_{Ub(3)}$.

Модель	Вид зависимости	F
Полином 1-ой степени	$0.73-0.23x$	1,377
Полином 2-ой степени	$-0.012+0.85x-0.225x^2$	1,597
Полином 3-ой степени	$-0.00046+1.16x-0.54x^2+0.07x^3$	0,730
Полином 4-ой степени	$0.00075+1.35x-0.85x^2+0.22x^3-0.23x^4$	0,680

Дополнительное исследование, а именно оценка адекватности в других точках показала, что наилучшие результаты имеют модели 3-го и 4-го порядка, при этом коэффициенты критерия Фишера в обеих моделях в отличаются незначительно. Поэтому в качестве основной функциональной зависимости между K_{Ub} и $K_{Ub(3)}$ предпочтительнее использовать модель 3-го порядка, так как она является более простой, имеет меньшее число коэффициентом и незначительно уступает по степени адекватности модели на основе полинома 4-го порядка.

Список литературы

1. *Зубов А.Ф.* Актуальность проблемы качества электрической энергии// Агротехника и энергообеспечение.-2014. -№1.- с. 431.

2. *Суднова В.В., Пригода В.П., Хакимов Р.Р.* Принципы построения информационно-измерительной системы мониторинга показателей качества электроэнергии и управления качеством электроэнергии // Энергонадзор и энергобезопасность. – 2006. – №3. – с. 45

3. *Лейзгольд К.А., Ромодин А.В., Безгодов П.А.* Корреляционный анализ взаимного влияния показателей качества электрической энергии [Электронный ресурс] // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 8-1 – с. 128

4. *Вучков. И., Бояджиева Л., Солаков Е.* Прикладной линейный регрессионный анализ / Пер. с болгарского Ю. П. Адлера. – М.: Финансы и статистика, 1987. – с. 26.

5. *Андриевская, Н.В.* Идентификация систем управления: учеб. пособие №2 /Н.В. Андриевская, Н.Н. Матушкин, А.А. Южаков.- Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2012- с. 87.

05.13.06

А.А. Бачурин, Н.В. Павлов, А.В. Папулов

Пермский Национальный Исследовательский Политехнический Университет,
электротехнический факультет,
кафедра микропроцессорных средств автоматизации,
Пермь, a.bachurin@pstu.ru, pavlov_v94@mail.ru, papulovanton@mail.ru

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ МОЩНОСТЬЮ НАРУЖНЫХ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВЕЛИЧИНЫ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКА

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-4-96-98

Целью изобретения является оптимизация расхода электроэнергии за счет уменьшения её потребления в моменты значительного снижения интенсивности движения на объектах, требующих освещения.

Ключевые слова: *система управления, наружное освещение, энергетическая эффективность, качество освещения.*

Введение. На освещение тратится около 14% всей вырабатываемой электроэнергии [1], поэтому повышение энергетической эффективности осветительных установок играет существенную роль в экономии электроэнергии. Эффект от применения электронных пускорегулирующих устройств и систем управления освещением дает возможность довести экономию до 60 %.

Причем основной вклад в этот эффект создается системами управления освещением (около 40%), а доля электронных пускорегулирующих аппаратов в величине этого эффекта не превышает 20 % [2].

Анализ существующих систем автоматического управления освещенностью. Известно, что экономическая эффективность при работе осветительных установок обратно пропорциональна потребляемой ими мощности, а потребляемая мощность в свою очередь определяется номинальной величиной светового потока создаваемого осветительной установкой.

Также известно, что для различных ситуаций требуется различная величина освещенности и проект осветительных установок в конкретном месте (помещение, площадка, участок улицы) рассчитывается на эксплуатацию в течение длительного времени (не менее 5 лет) [3].

Известно множество технических решений, с использованием систем автоматического управления освещением.

Управление осветительной нагрузкой осуществляется при этом двумя основными способами: отключением всех или части светильников, либо изменением величины светового потока светильников [4].

Момент изменения режима работы освещения в известных системах определяется сигналами с фотореле (фотоавтоматы), таймеров, датчиков движения. Недостатком существующих систем управления с датчиками движения является сокращение срока службы ламп за счет частых включений и отключений и отсутствие регулирования величины светового потока. Недостатком остальных систем управления является невозможность автоматического регулирования освещения в режиме реального времени в зависимости от потребности в освещении в конкретной ситуации [5].

Управление мощностью в зависимости от величины транспортного потока. Целью создания новой системы управления освещением является оптимизация расхода электроэнергии за счет уменьшения её потребления в моменты значительного снижения интенсивности движения на объектах, требующих освещения.

Взятая за основу система управления способна регулировать световой поток групп осветительных установок в зависимости от времени суток по формуле:

$$J = f(T), \quad (1)$$

где J – это уровень светового потока в процентах от его номинальной величины, %; T – переменная, обозначающая текущее время суток, принимает одно из 4 значений: «день», «ночь», «утро» или «вечер»; f – функция управления.

Но ей не хватает более гибкого графика включения и отключения освещения. Необходимо, чтобы график не только подразумевал три временных периода в течение суток – когда освещение включено, включено не на полную мощность и когда отключено, а допускал корректировку в зависимости от интенсивности движения, в пределах нескольких минут.

Поставленная задача решается за счет того, что рассмотренная в качестве прототипа система управления с фиксированными временными зонами, дополняется: счетчиком количества транспортных средств в единицу времени и контроллером, который в свою очередь управляет световым потоком осветительной установки с функциональной зависимостью:

$$J = f(N), \quad (2)$$

где J – это уровень светового потока в процентах от его номинальной величины, %; N – количество транспортных средств в процентах от максимального среднегодового значения, %; f – функция управления.

Для разработки алгоритма управления были сняты характеристики транспортных потоков на нескольких типовых улицах города. Измерение производилось ручным подсчетом числа проехавших автомобилей за пятиминутный интервал по интересующему участку. Подсчет производился по записанной ранее видеозаписи в темное время суток.

Для работы в составе предлагаемой системы управления могут быть использованы датчики числа автомобилей любой конструкции (ИК, ультразвуковые, видео).

Отличительные признаки предлагаемого принципа управления – сигнал управления для осветительной установки формируется автоматически в зависимости от интенсивности движения транспортных средств в единицу времени. Сигнал управления задает величину светового потока в процентах от номинальной величины светового потока осветительной установки. Зависимость может быть определена как в табличной форме, так и в виде непрерывной функции.

Задаваемая функциональная зависимость должна быть согласована с техническими возможностями осветительных установок и действующими нормативными документами [3]. В дневное время суток искусственное освещение не требуется. Принцип формирования сигнала в виде табличной зависимости представлен в таблице 1.

Таблица 1– Пример задания 8-ми ступенчатой табличной функции управления

№ ступени	Величина светового потока J, %	Границы изменения транспортного потока N, %
1	100	100-70
2	90	70-47
3	80	47-33
4	70	33-24
5	60	24-20
6	50	20-18
7	40	18-1

Значения для функции рассчитываются пропорционально величине транспортного потока – то есть 100% величине светового потока соответствует 100% среднегодовая величина интенсивности движения транспортных средств, при снижении интенсивности движения - снижается величина светового потока осветительных установок.

Зависимость может определяться функцией 2го порядка таким образом, чтобы в ключевых точках соответствовать нормативным документам [3]. Данные таблицы можно представить в виде непрерывной функции. Коэффициенты в этом случае находится методом наименьших квадратов.

Итоговые значения энергии, потребляемой установками наружного освещения, представлены в таблице 2.

Таблица 2– Годовое время горения для 8-ми режимного режима работы новой системы управления

Система управления	**Wгод, ГВт*ч**
существующая 2-х режимная	22,345
новая 8-ми режимная	8,841

Заключение. Предлагаемая система автоматического регулирования светового потока осветительной установки, отличается от существующих тем, что снабжена счетчиком количества транспортных средств в единицу времени, передающим измеряемый сигнал в контроллер светового потока.

Контроллер в свою очередь формирует сигнал управления исходя из функциональной зависимости уровня освещенности от интенсивности движения транспортных средств, а затем передает этот сигнал управления осветительной установке в виде значения светового потока в процентах от его номинальной величины по одному из стандартных интерфейсов (0-10В, DALI, etc).

Реализованный принцип управления позволяет обеспечить снижение величины потребляемой мощности, сокращение затрат на электрическую энергию, а также повысить равномерность освещения городских пространств и избавится от необходимости отключения освещения в ночное время. Ориентировочная эффективность применения предлагаемой новой системы управления составляет 60%, по сравнению с энергопотреблением существующих систем наружного освещения.

Следующие шаги по данному направлению должны быть посвящены особенностям технической реализации предлагаемой системы, разработке методики и точному расчету энергоэффективности при использовании системы на конкретном объекте, разработке функции управления с максимальной энергоэффективностью.

Список литературы

1. *Клыков М.Е.* Электронные пускорегулирующие аппараты для разрядных ламп и системы автоматического управления освещением / М.Е. Клыков; под ред. Ю.Б. Айзенберга. – ПРООН, 2011 – 16 с., ил.
2. *Liping Guo, Marjukka Eloholma DSc & Liisa Halonen D.Sc* Lighting Control Strategies for Telemanagement Road Lighting Control Systems, LEUKOS 2008, 4:3, С. 157-171
3. ГОСТ Р 55706-2013 Освещение наружное утилитарное. Классификация и нормы
4. *Branislav M. Todorović, Dragan Samardžija.* Road lighting energy-saving system based on wireless sensor network. Springer Science+Business Media Dordrecht 2016
5. *Boyce PR, Fotios S, Richards M.* Road lighting and energy saving. Lighting Research and Technology 2009; 41: С. 245–260.

05.13.06

Ф.Н. Баянов, Д.А. Даденков, О.П. Суханов

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
электротехнический факультет, кафедра микропроцессорных средств автоматизации,
bayanoffedia@gmail.com

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ НАПОРНОГО ЯЩИКА УЧЕБНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОГО ПРОИЗВОДСТВА

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-4-99-101

В представленной работе рассматривается разработка системы автоматического управления напорного ящика учебно-экспериментальной установки целлюлозно-бумажного производства. Ставится задача, используя математическую модель напорного ящика, выполнить синтез системы управления и провести ее исследование на основе разработанной имитационной модели.

Ключевые слова: *система управления, контур регулирования, напорный ящик, имитационная модель, идентификация.*

Производство бумажного полотна является сложным многостадийным технологическим процессом, в котором участвует множество устройств непрерывного действия, различных по конструктивному исполнению, а также по принципам действия и протекающим в них процессам [1].

Анализируя реальные технологические процессы производства бумаги можно прийти к выводу, что на качество бумажного полотна в той или иной степени оказывает влияние большое количество факторов. При этом наиболее значимую роль в формировании качественных показателей готовой продукции оказывает система напуска бумажной массы [1, 2]. Из этого следует, что необходимо разработать и качественно настроить систему автоматического управления технологическим процессом напорного ящика (НЯ) [1].

Напорные ящики открытого и закрытого типа различаются конструкцией и различными требованиями к режимам работы. Основная задача системы автоматического управления (САУ) напорного ящика закрытого типа – стабилизация заданного суммарного напора [2]. Решение данной задачи можно осуществить различными способами, воздействуя на определенные каналы управления, для выбора которых рассмотрим математическую модель напорного ящика. Известно, что математическая модель динамики напорного ящика с воздушной подушкой, как объекта управления, описывается системой нелинейных дифференциальных и алгебраических уравнений и подробно представлена в [1, 2], преобразовав эту систему уравнений по Лапласу [3], получим:

$$\begin{cases} h(p) = \dfrac{1}{Fp}(Q_{\text{МП}}(p) - Q_{\text{МО}}(p)) \\ H(p) = h(p) + K_3 \cdot P(p) \\ Q_{\text{МО}}(p) = K_4 \cdot H(p) + K_5 \cdot a(p) \\ g^*(p) = \dfrac{1}{p}(g_{\text{П}}(p) - g_{\text{В}}(p)) \\ P(p) = K_1 \cdot g^*(p) + K_2 \cdot h(p) \\ g_{\text{В}}(p) = K_6 \cdot P(p) \end{cases} \quad (1)$$

где h – уровень массы в напускной камере, F – площадь поперечного сечения напускной камеры, $Q_{МП}$ и $Q_{МО}$ – расход поступающей и вытекающей массы из напускной камеры, H – суммарный напор, P – давление воздуха в воздушной подушке, g* – количество воздуха в воздушной подушке, $g_П$ и $g_В$ – расход поступающего и вытекающего воздуха из воздушной подушки.

На основе полученной системы уравнений можно составить структурную схему динамики рассматриваемого напорного ящика (рис. 1).

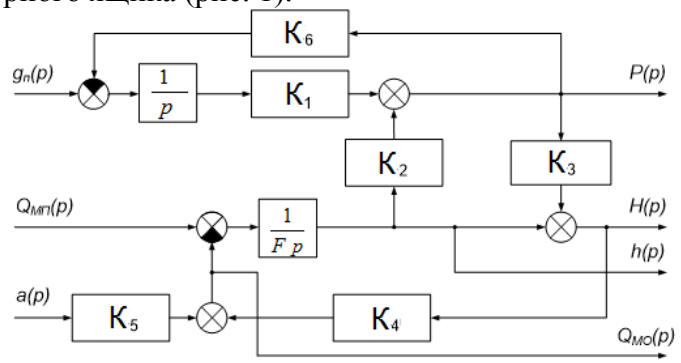


Рис. 1 – Структурная схема напорного ящика с воздушной подушкой

Основной задачей напорного ящика является создание равномерного и стабильного потока бумажной массы выпускаемой из напорного ящика на движущуюся сетку. Поэтому при построении САУ напорного ящика нужно осуществить стабилизацию либо суммарного напора и уровня массы, либо давления воздушной подушки и суммарного напора, либо уровня массы и давления воздуха воздушной подушки, применив микропроцессорные средства автоматизации. После анализа различных вариантов управления был вариант реализации САУ НЯ со стабилизацией уровня массы изменением расхода подводимой массы и стабилизацией суммарного напора изменением давления воздушной подушки как наиболее легко реализуемый на учебно-экспериментальной установке [4].

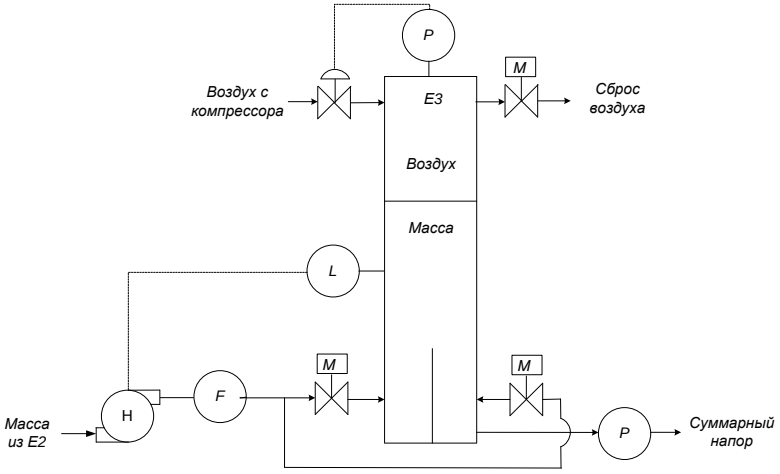


Рис. 2 – Функциональная схема локальных контуров регулирования напорного ящика

Функциональная схема локальных контуров регулирования для выбранного варианта реализации САУ напорного ящика представлена на рисунке 2.

Следующим этапом разработки системы управления является параметрическая идентификация модели НЯ, подразумевающая определение численных параметров математической модели (1). Проведем идентификацию рассматриваемого объекта управления в соответствии с техническими данными используемого на установке оборудования и выполним синтез и настройку локальных контуров регулирования уровня массы в НЯ и давления воздушной подушки.

Для синтеза контуров регулирования используем типовую методику настройки на технический оптимум [3]. В результате математических преобразований были синтезированы ПИД-регулятор уровня и ПИ регулятор давления.

На следующем этапе разработки САУ объединим синтезированные контура регулирования в единую систему для поддержания суммарного напора массы на выходе из напорного ящика и реализуем имитационную модель в среде *MatLab/Simulink* (рис. 3).

Рассмотрим полученные в ходе имитационного моделирования графики переходных процессов (рис. 4), которые отражают работу системы автоматического управления напорным ящиком при изменении задания уровня массы и суммарного напора.

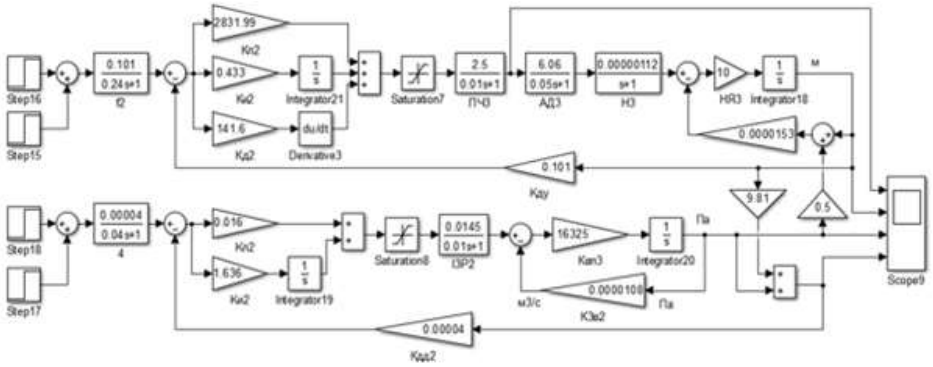


Рис. 3 – Имитационная модель системы управления напорного ящика

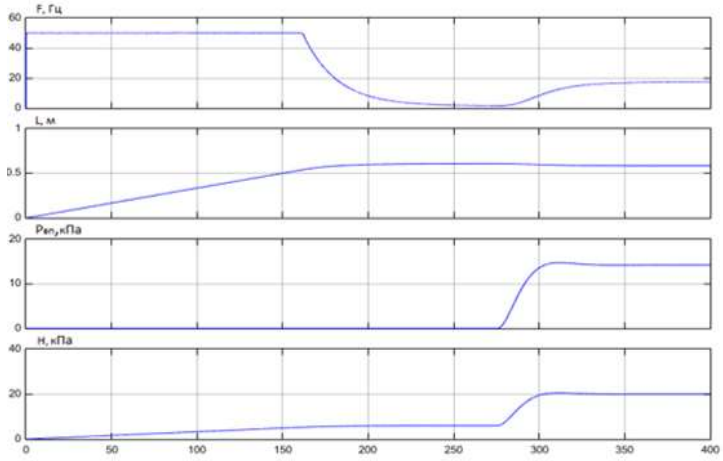


Рис. 4 – Графики переходных процессов исследуемой САУ

В представленном случае (рис. 4) задание уровня составляет 0,7 м, а задание суммарного напора 20 кПа. В момент времени t=0 с в емкость набирается масса, в момент времени t=170 с достигается заданный уровень, что ведет к снижению частоты вращения насоса, уровень стабилизируется. Далее в момент времени t=270 с подается задание на суммарный напор 20 кПа, который достигается за счет увеличения давления воздушной подушки. В связи с увеличением суммарного напора, который складывается из суммы гидростатического давления и давления воздушной подушки, так же увеличивается частота вращения насоса, т.к. увеличивается скорость истекания массы, система стабилизируется.

На основе полученных во время синтеза регуляторов можно реализовывать систему управления на микропроцессорных средствах, однако следует помнить, что аналитически полученные коэффициенты основываются на упрощенных моделях реального объекта, поэтому перед внедрением САУ в технологическом процессе необходимо проводить экспериментальные исследования с целью ручной подстройки системы автоматического регулирования.

Список литературы

1. *Буйлов Г.П., Доронин В.А., Серебрянков Н.П.* Автоматическое управление технологическими процессами целлюлозно-бумажного производства: учеб.пособие. – Л.: Издательство Ленинградского университета, 1989. – 262 с.

2. *Шамсон А.С., Пиргач Н.С.* Автоматизация напорных ящиков быстроходных бумагоделательных машин. М.: Лесная промышленность 1965. − 104 с.

3. *Лукас В.А.* Теория управления техническими системами: Учебное пособие для вузов. 4-е издание, исправленное. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2005. - 677 с.

4. *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 (2-30 ноября 2009 г.)

05.13.06

С.В. Бочкарев, М.И. Мотырев

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
электротехнический факультет, кафедра микропроцессорных средств автоматизации,
Пермь, bochkarev@msa.pstu.ru, motyrev_isup@mail.ru

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ РАЗРАБОТКИ РУКОВОДСТВА ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ В ИНТЕГРИРОВАННОЙ СРЕДЕ TEAMCENTER & CORTONA3D RAPIDAUTHORS

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-4-102-104

В данной статье рассмотрены основные проблемы разработки руководств по обслуживанию авиационных двигателей на примере конструкторского бюро ОАО «Авиадвигатель», определены основные цели внедрения методологии ИПИ-технологий. Построена и проанализирована модель исследуемого процесса «как должно быть».

Ключевые слова: *руководство по эксплуатации, модуль данных, рабочая конструкторская документация, Teamcenter , Cortona3D RapidAuthorS.*

Одним из ключевых этапов жизненного цикла (ЖЦ) изделия является разработка эксплуатационной документации с использованием новых автоматизированных систем, что может стать конкурентным преимуществом при обслуживании техники. При этом приходится решать вопросы интеграции данных [1, 2]. При использовании автоматизированных систем чаще всего решаются этапы проектирования и производства изделий [3] с рассмотрением вопросов комплексной многокритериальной многопараметрической оптимизации структуры систем управления технологическими процессами [4] и систем испытаний в составе системы управления качеством [5] на этапе жизненного цикла. Для решения задачи непрерывного мониторинга эксплуатации перспективных образцов авиационной техники предлагается система управления полным ЖЦ за счет полной автоматизации управления информационными потоками в «реальном» времени посредством согласованного использования комплекса современных информационных технологий [6, 7]. При этом необходимо решать вопросы управления стоимостью ЖЦ технических изделий в части, касающейся организации и осуществления мероприятий по поставкам запасных частей в рамках их послепродажного обслуживания с учетом анализа рисков [8].

Послепродажное облуживание – один из ключевых моментов ЖЦ изделия. В современных условиях развития техники применение новых технологий обслуживания является весомым конкурентным преимуществом. В настоящее время сертификация новых изделий на международном рынке невозможна без предоставления руководства по эксплуатации в соответствии с международными стандартами (*S*1000*D*).

Проведенный анализ этапа создания руководства по эксплуатации и последующего послепродажного облуживания выявил сложный механизм разработки модулей данных; низкую степень использования конструкторских данных для создания руководства по эксплуатации; отсутствие связей между конструкторскими данными и руководством по эксплуатации; низкую информативность руководства по эксплуатации.

Для устранения указанных проблем предлагается использовать интегрированную среду *Teamcenter* & *Cortona*3*D RapidAuthorS* [9], благодаря которой можно создать единую среду для разработки и управления руководством по эксплуатации и сократить сроки его выпуска.

Для оптимизации бизнес-процессов разработки интерактивного электронного технического руководства при помощи среды моделирования *BPwin* 4.1 была спроектирована функциональная модель «как должно быть» процесса разработки руководства по эксплуатации для двигательной установки (рис. 1), которая отображает структуру и функции автоматизированной системы, а также потоки информации и материальных объектов, преобразуемые этими функциями.

Входной информацией в рамках модели являются перечень необходимых модулей данных (*Data Module Requirement List*) и 3*D* макет двигателя. Данная информация необходима для разработки руководства по эксплуатации в печатном виде и интерактивного электронного технического руководства [3].

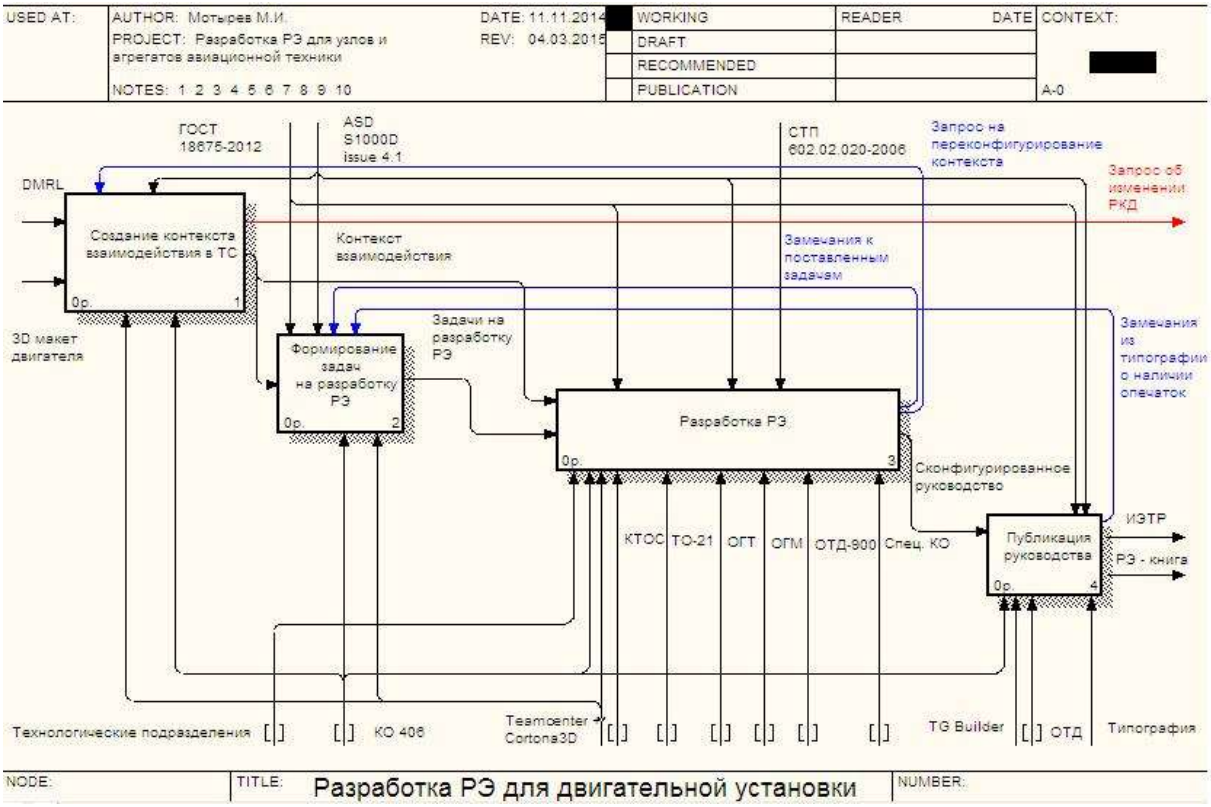


Рис. 1 – Декомпозиция контекстной диаграммы процесса разработки РЭ для двигательной установки «как должно быть»

В модели «Как должно быть» реализован анализ информации и валидности состава с целью выявление недостатков до этапа согласования. Также реализованы следующие обратные связи: замечания к поставленным задачам, запрос на переконфигурирование контекста, замечания из типографии о наличии опечаток и запрос об изменении рабочей конструкторской документации (РКД).

В данной модели на первом этапе осуществляется создание контекста взаимодействия. Это постоянная структура, позволяющая обмениваться данными между *Teamcenter* и *Cortona* 3*D RapidAuthors*.

Создание контекста взаимодействия осуществляется в приложении *Teamcenter* – менеджере многовидовых структур (*Multi-Structure Manager*).

Для реализации принципа создания связи между эксплуатационной документацией и конструкторскими данными предполагается расширение модели данных *PLM*-системы *Teamcenter*. Весь состав для разработки руководства по эксплуатации будет храниться в отдельных объектах, сохраняющих связь с конструкторскими данными. Это позволит отслеживать изменения между конструкторским составом и составом для разработки руководства по эксплуатации, но проводить их в документации только согласно правилам проекта [3].

Для разработчика руководства по эксплуатации необходимым условием является объединение этапов создания модуля данных (работа с 3*D*, написание текста, создание иллюстраций) в единой среде, это повышает качество руководства и снижает количество ошибок.

*Cortona*3*D RapidAuthors* является самостоятельным продуктом, имеющим бесшовную интеграцию с *Teamcenter* и запускается непосредственно из среды *Teamcenter* и обеспечивает весь спектр возможностей, необходимый для разработки интерактивной документации (3*D*-анимаций, 2*D*-иллюстраций, *DPL*-таблиц и т.д.), что и реализовано в модели «как должно быть».

На рисунке 2 представлена схема интеграции «*Teamcenter & Cortona3D RapidAuthorS*» путем создания временной папки проекта и выгрузки данных в формате *PMLXML*.

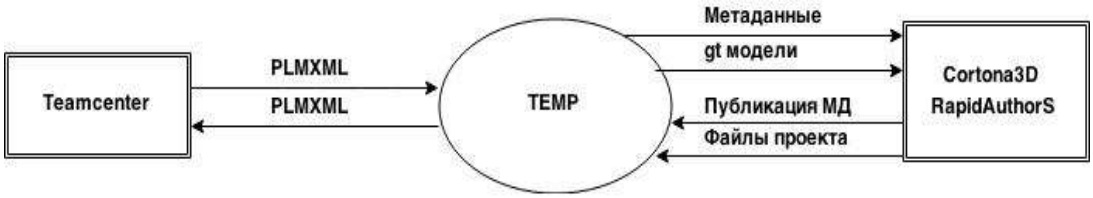


Рис. 2 – Интеграция *Teamcenter – Cortona*3*D*

В результате реализации данного проекта на ОАО «Авиадвигатель» повышена информативность руководства по эксплуатации и удобство доступа к нему для заказчика; создан единый многофункциональный интерфейс для подготовки исходных данных в PLM-системе для разработки модулей данных.

Список литературы

1. *Бибиков Ю.С., Серебренников А.С., Фоломеев А.Н.* Роль автоматизированных систем поддержки эксплуатации в системах управления жизненным циклом//Изобретательство.– Т.16, № 4.– 2016.–С.17 – 22.

2. *Ханов В.А., Марьин С.Б., Серафимов М.А.* Разработка и внедрение системы управления данными об изделии в наукоёмком производстве//Научные труды (Вестник МАТИ).– № 21 (93).–2013.– С.207-212.

3. *Шмелев В. В., Охтилев М. Ю.* Информационное обеспечение автоматизированной системы управления подготовки и пуска ракеты космического назначения путём внедрения PLM-системы//Инженерная физика. – №: 5. – 2016. – С. 69-78

4. *Лисов О. И., Чжо Зо Е, Пайе Тэйн Наинг, Марков А. Б.* Оценка качества систем управления технологическими процессами на этапах жизненного цикла//Оборонный комплекс - научно-техническому прогрессу России. – №2 (122).–2014.–С. 34-39

5. *Адгамов Р.И., Дмитриев С.В., Хайруллин А.Х.* Автоматизированные испытания в системе управления качеством авиационных двигателей//Известия высших учебных заведений. авиационная техника.– №1.– 2012.– С. 72-76.

6. *Желтов С.Ю., Буряк Ю.И., Любовников М.П.* Разработка методических решений комплекса программно-аппаратных средств, обеспечивающих реализацию непрерывного мониторинга эксплуатации перспективных образцов авиационной техники//Известия самарского научного центра российской академии наук.– Т.16, №1-5. – 2014. С. 1385-1393.

7. Системы управления жизненным циклом изделий авиационной техники: актуальные проблемы, исследования, опыт внедрения и перспективы развития //Труды III Международной научно-практической конференции. Ульяновск, 01-02 ноября 2012 г. – Ульяновский государственный университет. – 2012. – 563с.

8. *Ямпольский С.М., Шаламов А.С., Кирсанов А.П., Огуречников Е.В.* Управление стоимостью поставок запасных частей для послепродажного обслуживания сложных технических изделий//Бизнес-информатика.–№ 3 (33).–2015. – С. 65-73.

9. Cortona3D [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.cortona3d.com/ru/rapidauthor (дата обращения 05.05.2017).

05.13.18

А.П. Буйносов д.т.н.

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

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФОРМЫ ПОВЕРХНОСТИ КАТАНИЯ БАНДАЖЕЙ НА КОЭФФИЦИЕНТ СЦЕПЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОВОЗА

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-4-105-107

В статье приводятся теоретическое обоснование влияния конфигурации профиля поверхности катания бандажей на коэффициент сцепления колесных пар электровоза и рельсов.

Ключевые слова: *электровоз, колесная пара, бандаж, поверхность, профиль, рельс, коэффициент сцепления, теория, обоснование.*

При нарастании проката (особенно при прокате около 7 мм) склонность электровозов к боксованию увеличивается. Поэтому в ряде локомотивных депо в целях улучшения тяговых свойств электровозов прокат бандажей устраняют при 3–5 мм, что значительно увеличивает число обточек.

Рациональный прокат следует устанавливать с учетом эксплуатационных затрат путем технико-экономических расчетов с использованием количественной зависимости коэффициента сцепления от проката [1].

При проскальзывании бандажа относительно рельса коэффициент сцепления от скорости скольжения можно определить как

$$\psi_к = \psi_{к.max}\left[1 - \rho\left(V_{ск} - V_a\right)\right], \quad (1)$$

где $V_{ск}$ – скорость полного скольжения колеса, м/с; V_a – скорость скольжения колеса на грани перехода другого скольжения в полное скольжение; $\Psi_{к\ max}$ – максимальный коэффициент сцепления, реализуемый при V_a; ρ – коэффициент жесткости характеристики сцепления.

Зависимость $\Psi_к = f(V_{ск})$ принято называть характеристикой сцепления. Максимальная сила тяги колесной пары реализуется при скорости скольжения каждого колеса V_a, т. е. когда избыточное проскальзывание колес отсутствует [2]

$$F_{кп\ max} = 2 \cdot F_{к\ max}. \quad (2)$$

Фактическая и требуемая для движения без проскользования разницы радиусов кругов катания колес равны между собой

$$\Delta r = \Delta r_{фак} - \Delta r_{тр} = 0. \quad (3)$$

Если Δr меньше или больше нуля, для определения наибольшей силы тяги колесной пары, которую она может реализовать в конкретных условиях, справедливо равенство

$$F_{КП} = 2F_{к.max}\rho\left[\frac{SV_Э}{R} - w\left(r_н - r_в\right)\right] = F_{к.max} - F_{к.max}\rho V\Delta r = 2F_{к.max} - F_{к.max}\rho w\Delta r\ , \quad (4)$$

где $2F_{к\ max}$ – максимальная величина силы тяги, реализуемой колесной парой; $V\Delta r$ – разность скоростей скольжения колес за счет несоответствия $\Delta r_{факт}$ и $\Delta r_{тр}$; w – угловая скорость поворота колеса относительно центра оси.

При определении величины Δr, характеризующей проскальзывание колес, наибольший интерес представляют крайние положения колесной пары. Расчет величины Δr в крайних положениях колесной пары произведен для следующих вариантов: бандажи и рельсы имеют номинальный профиль и изношены; бандажи изношены, рельсы номинального профиля; бандажи номинального профиля, рельсы изношены [1, 2].

Каждый из этих вариантов рассматривается при одинаковых условиях: прокат бандажей – 0; 1,5; 3; 5; 6,8 мм; радиус кривой R = 300 м; расстояние между внутренними гранями

бандажей t = 1440мм; подуклонка рельсов i = 1/20; возвышение наружного рельса h = 125мм; ширина колеи S = 1520мм; радиус бандажей по теоретическому кругу катания r = 600мм.

При S = 1520 мм и r = 600 мм центральный угол перемещения колесной пары вокруг центра кривой R = 300 м равен 0,01256 рад, а $\Delta r_{тр}$ = 3,18 мм. Перед определением $\Delta r_{факт}$ произведено исследование профиля поверхности катания и гребней бандажей, а также графическое определение точек контакта бандажей с рельсами [2]. Исследование профиля бандажей выполнено по методике, разработанной в УрГУПС. Для этого произведена съемка профилей бандажей колесных пар электровозов, эксплуатируемых в эксплуатационном локомотивном депо Пермь-Сортировочная с прокатом от 0 до 7 мм. Профили бандажей снимали методом слепков. Разведенный гипс заливали в специальную форму, установленную на бандаж. Воспроизводимый на слепке профиль бандажа переносили на бумагу и расшифровывали. Износ определяли в сечениях шестнадцати точек. Для выявления зависимости износа $\overline{Y_i}$, бандажей в принятых сечениях от проката δ, полученные значения износа в каждом сечении при различных прокатах сводили в корреляционные таблицы, при последующей обработке которых устанавливали форму связи, вычисляли уравнения регрессии, находили коэффициенты корреляции и определяли достоверность связи [3].

Рассчитанные зависимости справедливы для проката более 0,5 мм, при котором заканчивается период приработки и начинается естественный износ. Отрицательный износ в ряде сечений при малых величинах проката объясняется выдавливанием металла под действием вертикальной нагрузки. При нарастании проката изменяется кривизна отдельных участков профиля поверхности катания бандажей [4]. Задаваясь величиной проката по полученным уравнениям регрессии, подсчитаны средние величины износа в принятых сечениях, по которым с учетом вычисленных радиусов кривизны отдельных участков построены профили бандажей при различных прокатах (рис. 1). Так как между прокатом и износом бандажей в сечениях с двенадцатого по шестнадцатый достоверной связи не установлено, профили гребней при различных прокатах построены по среднеарифметическим значениям износов.

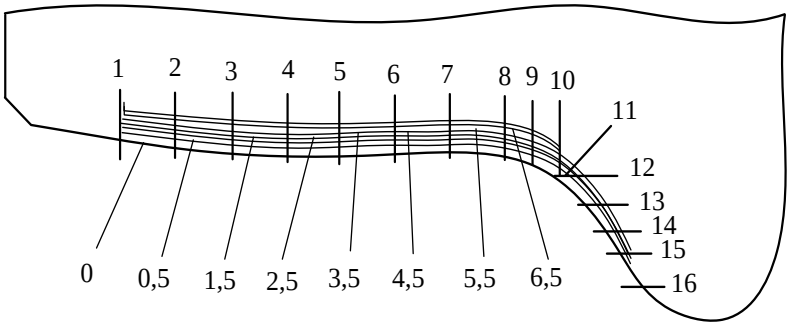


Рис. 1. Усредненные профили бандажей при различных прокатах от 0,5 до 6,5 мм

На рис. 2 покажем определение точек контакта бандажей с рельсами графическим способом.

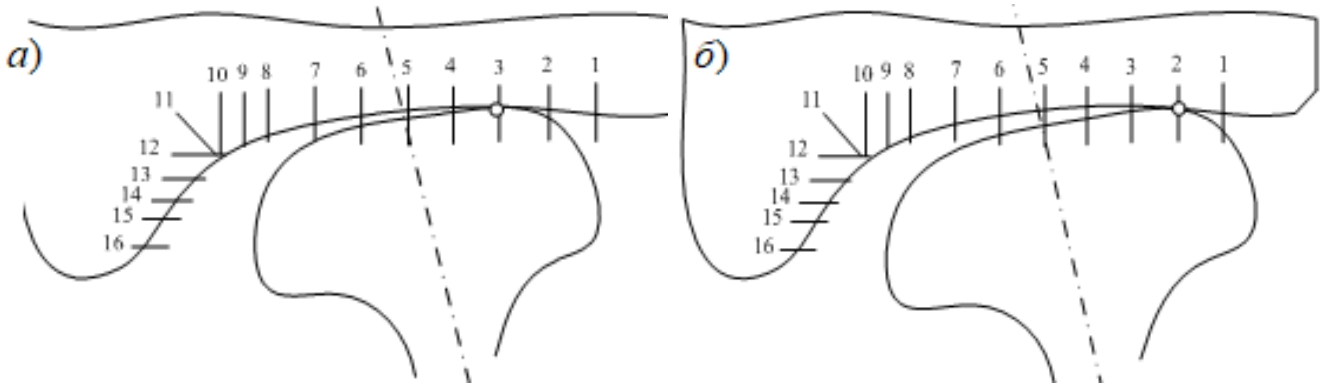


Рис. 2. Определение точек контакта бандажей с рельсами кривой R = 300 м при крайнем наружном положении колесной пары:
а) нулевой прокатбандажей; *б*) прокат бандажей 6,8 мм

Точки контакта бандажей с рельсами определяли графическим способом (см. рис. 2). При этом боковое отжатие рельсов, вползание гребня, изгиб оси под нагрузкой и изменение угла набегания колес не учитывались [5]. После определения точек контакта аналитически вычисляли радиусы кругов катания колес при различных прокатах и определяли значения Δr которые приведены в таблице.

Таблица

Значение Δr при различных прокатах бандажей

Положение колесной пары	Прокат, мм	Рельсы номинального профиля		Изношенные рельсы	
		$\Delta r_{факт}$, мм	Δr, мм	$\Delta r_{факт}$, мм	Δr, мм
Крайнее наружное	0,0	2,5	–0,68	2,0	–1,18
	1,5	4,5	1,32	5,5	2,32
	3,0	7,1	3,92	6,0	2,82
	5,0	8,0	4,82	7,7	4,52
	6,8	9,0	5,82	8,0	4,82
Крайнее внутреннее	0,0	0.5	–2,68	0,7	–2,38
	1,5	0,8	–2,38	1,8	–1,28
	3,0	–4,5	–7,68	–6,4	–9,58
	5,0	–6,8	–9,88	–7,8	–10,98
	6,8	–7,8	–11,96	–9,0	–12,18

В крайнем наружном положении колесной пары при нулевом прокате величина Δr отрицательная, а при прокате δ = 1,5 мм – положительная. Очевидно, что при некотором значении проката, находящимся в пределах от 0 до 1,5 мм, величина

$$\Delta r = \Delta r_{факт} - \Delta r_{тр}. \quad (5)$$

Расчетами установлено, что $\Delta r = 0$, то есть колесной парой реализуется максимальная сила тяги при прокате δ = 0,5 мм для новых и при δ = 1 мм для изношенных рельсов. При дальнейшем нарастании проката абсолютная величина Δr увеличивается, а наибольшая сила тяги, которая может быть реализована осью, снижается. В крайнем внутреннем положении колесной пары как при новых, так и при изношенных рельсах для всех значений проката величина Δr отрицательная, а абсолютная величина ее, сначала незначительно уменьшается, а затем увеличивается. Аналогичное изменение Δr при нарастании проката установлено расчетами при изменении радиуса кривой, ширины колеи и подуклонки рельсов.

Список литературы

1. *Буйносов А.П., Фетисова Н.Г.* Зависимость коэффициента сцепления от величины проката бандажей колесных пар электровозов // Научно-технический вестник Поволжья. 2013. № 4. С. 124-126.

2. *Буйносов А.П.* Оценка эффективности снижения износа бандажей колесных пар электровозов, обточенных по различным профилям // Транспорт: наука, техника, управление. 2010. № 12. С. 40-42.

3. *Буйносов А.П., Козаков Д.Ю.* Анализ процессов эксплуатационного износа гребней бандажей колесных пар электровозов // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 3. С. 79-84.

4. *Буйносов А.П., Наговицын В.С.* Как повысить надежность бандажей // Локомотив. 1999. № 7. С. 36-38.

5. *Буйносов А.П.* Алгоритм построения уравнений трансляционной динамики движения колесной пары в рельсовой колее // Научно-технический вестник Поволжья. 2016. № 3. С. 87-90.

05.13.06

Н.И. Войтехов, А.Н. Лыков

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
электротехнический факультет, кафедра «Микропроцессорные средства автоматизации»,
nikita.voiteh@gmail.com

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ ДАВЛЕНИЯ НА ПЕРВОЙ СТУПЕНИ ТУРБОКОМПРЕССОРА ПРОПАНОВОЙ ХОЛОДИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-4-108-111

В данной статье рассматривается автоматизированная система управления контура поддержания давления на первой ступени турбокомпрессора пропановой холодильной установки Южно-Балыкского ГБЗ при помощи антипомпажного регулирующего клапана.

Ключевые слова: *автоматизация, система, помпаж, контур регулирования, турбокомпрессор, моделирование, клапан, оптимизация, схема, настройка.*

Помпаж турбокомпрессоров большая проблема, возникающая при отсутствии требуемого давления на приеме турбокомпрессора, которая приводит к выходу из строя машины, вызванная сильным нагрузкам на лопатки турбокомпрессора, циклы которых могут повторять каждые 0,5-3 с.

Турбокомпрессор «Светлана» представляет собой холодильный пропановый контур с трехступенчатым сжатием паров пропана. Технологическая схема турбокомпрессора состоит из трех линий всаса, на которые пары пропана поступают из холодильников и переохладителей. Антипомпажной линии, предназначенной для предотвращения помпажа компрессора, линией сброса на факел и линией нагнетания

Технологическая схема Турбокомпрессора «Светлана» представлена на рисунке 1.

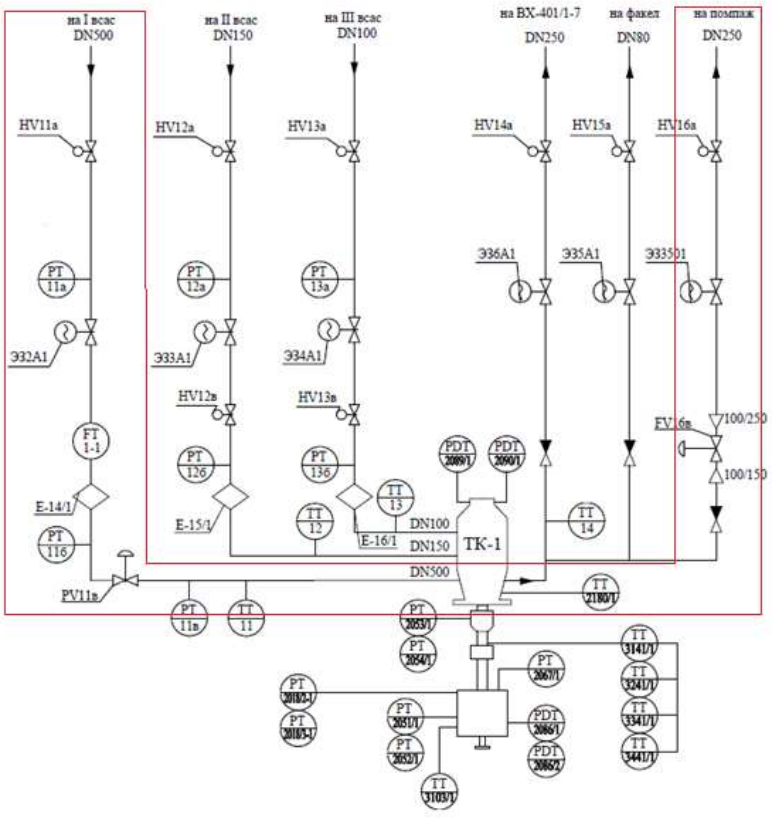


Рис.1 – Турбокомпрессор «Светлана»

На рисунке красной линией обведен контур, выбранный для исследования в данной работе. Выбранный контур состоит из линии всаса турбокомпрессора, на которой расположены отсекатель HV11a, предназначенный для предотвращения аварийных ситуаций, электрическая задвижка Э32А1 и дроссельный регулятор PV11a. На линии предотвращения помпажа ТК расположены антипомпажный регулятор FV16в, электрозадвижка Э3501и отсекатель HV16a.

Передаточная функция турбокомпрессора представлена апериодическим звеном второго порядка и построена на основании коэффициентов,указанных в техническом паспорте объекта. Передаточные функции регуляторов построены на основании экспериментально полученных данных.

После того, как получены передаточные функции исполнительных механизмов, нужно переходить к синтезу структуры САУ и параметров устройства управления.

При настройке контуров регулирования многоконтурной системы управления исполнительными механизмами на симметричный оптимум, передаточные функции компрессора и регулирующих клапанов были представлены в виде оптимальных звеньев третьего порядка. В результате синтеза были получены коэффициенты ПИД-регулятора.

На рисунке 2 представлена структурная схема поддержания и регулирования давления на первом всасе турбокомпрессора «Светлана»

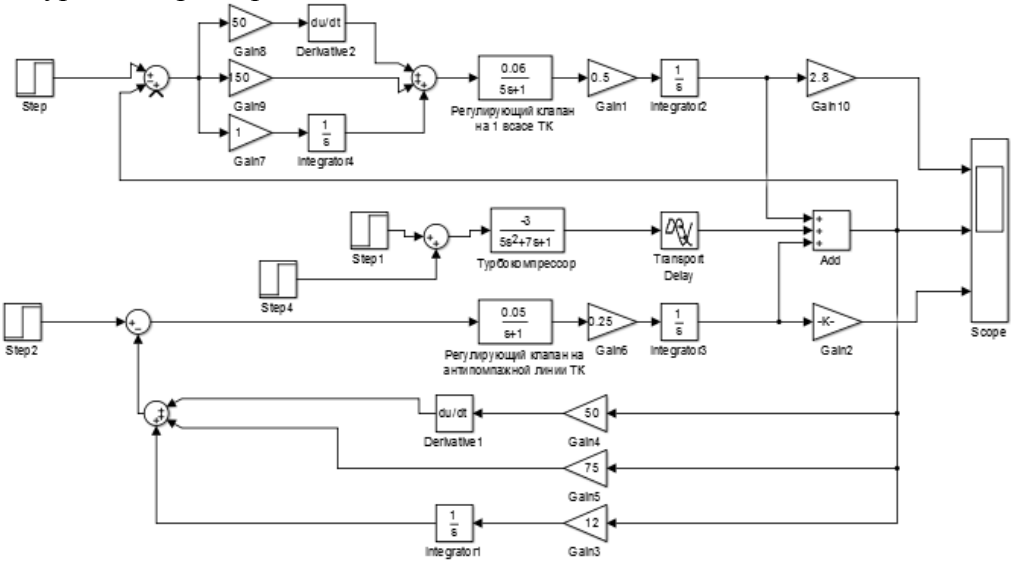


Рис.2 – Структурная схема поддержания и регулирования давления

На рисунке 3 представлены графики переходных процессов, где верхний график– степень открытия регулирующего клапана на всасе турбокомпрессора, нижний график – степень открытия регулирующего клапана на линии перепуска, средний график – давление на первой ступени.

На 20 секунде моделирования подадим возмущение в виде понижения давления на всасе турбокомпрессора. Из графиков видно, что при понижении давления антипомпажный клапан начинает открываться. Как только давление начало выравниваться, регулятор пошел на закрытие.

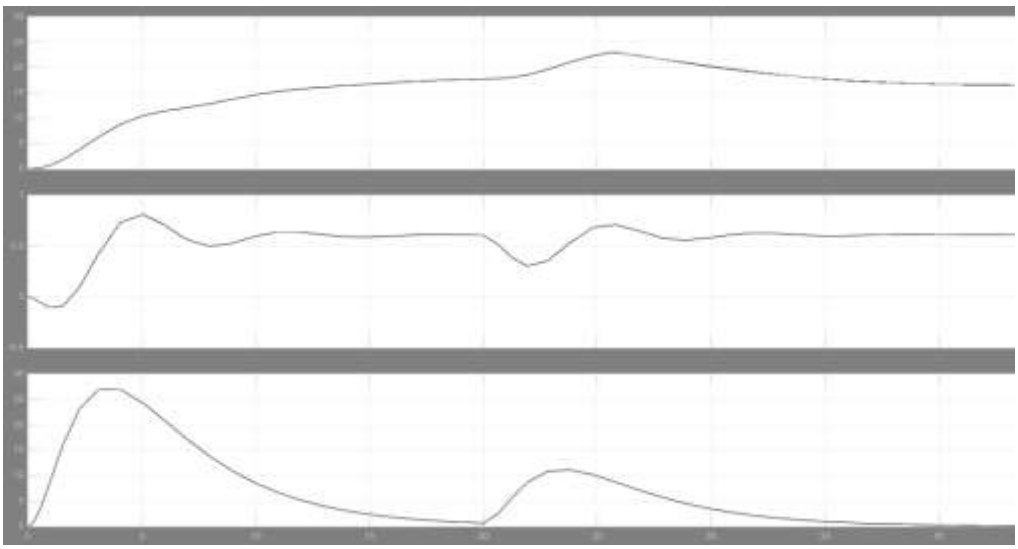


Рис.3 – Графики переходных процессов

По результатам моделирования можно сделать вывод, что коэффициенты ПИД регуляторов рассчитаны верно, а, следовательно, их можно применять при пуско-наладочных работах турбокомпрессора.

На рисунке 4 представлены логические схемы, реализованные при помощи функциональных блоков распределенной системы управления *Centum VP*.

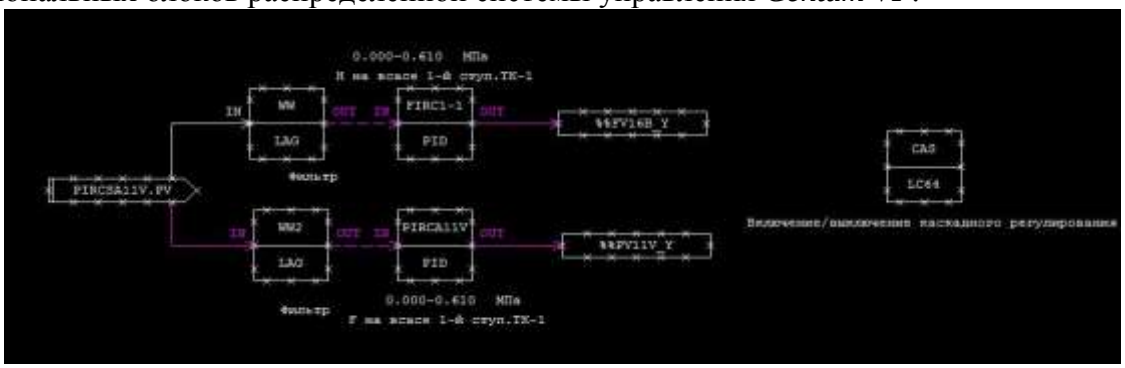


Рис.4– Логическая схема управления регуляторами

На рисунке показана взаимосвязь между измеряемым давлением, представленным блоком *PIO*, и двумя клапанами, регулирующими подачу давления на компрессор. Регулирование подачи давления на компрессор осуществляется в автоматическом режиме. При нехватке давления срабатывает предупредительная сигнализация и антипомпажный клапан переводится в каскадный режим и включается в работу, отдавая часть давления с нагнетания на вход первой ступени, тем самым компрессор начинает работать сам на себя и полностью исключает ситуацию возникновения помпажа. После того, как компрессор вошел в синхронный режим работы, перепускной клапан перестает быть нужным, он полностью закрывается и переводится в ручной режим.

На рисунке 5 представлены тренды, снятые при пробных пусках ТК «Светлана».

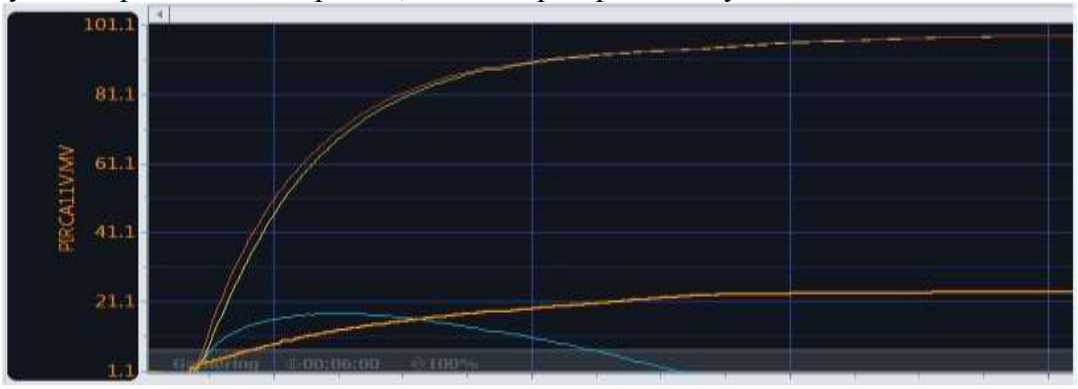


Рис.5 – Тренды пуска ТК

Синим цветом обозначен тренд по перепускному клапану, оранжевым цветом – регулятор на 1 всасе, а красным – давление на 1 степени ТК.

По построенным трендам мы видим, что при пуске давления системы не хватает, и это может привести к аварийной ситуации, поэтому помпажный клапан начинает открываться.По мере достижения нужного давления, помпажный клапан начинает отрабатывать на полное закрытие. По истечению некоторого времени на систему подали возмущение, в виде снижения давления до регулирующего клапана на первой ступени. По трендам на рисунке 6можно увидеть работу регулирующих клапанов.

Полученные в результате моделирования техпроцесса коэффициенты ПИД – регулятора в среде *MatLab*отличались от тех, которые были выставлены при пробных пусках турбокомпрессора. Это связано с тем, что математическая модель имеет упрощённую форму, и турбокомпрессор в ней представляет собой контур понижения давления на всасе. На реальном объекте намного больше возмущающих факторов, в связи с чем коэффициенты были подобраны для достижения необходимых показателей качества переходного процесса. Однако, полученные значения регулятора, очень пригодились, так как именно в их пределах были подобраны коэффициенты.

В статье было произведено моделирование и оптимизация процесса поддержания давления на всасе турбокомпрессора пропановой холодильной установки, по результатам которого были реализованы алгоритмы и настройка исполнительных механизмов выбранного контура регулирования турбокомпрессора в распределенной системе управления *CentumVP*.

Список литературы

1. *Бесекерский В.А.* Теория систем автоматического управления. – СПб.: Профессия, 2003. – 752 с.

2. Технологический регламент по эксплуатации установки переработки газа «Южно-Балыкского газоперерабатывающего завода», 2013. – 287 с.

05.13.06

Н.И. Войтехов, Д.А. Чернышев, А.Н. Лыков

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
электротехнический факультет, кафедра «Микропроцессорные средства автоматизации»,
nikita.voiteh@gmail.com

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СТРУКТУРНЫХ ПАРАМЕТРОВ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ И КОЛИЧЕСТВА ОБУЧАЮЩЕЙ ВЫБОРКИ НА ВЕЛИЧИНУ СРЕДНЕКВАДРАТИЧЕСКОЙ ОШИБКИ ПОЛУЧЕННОГО РЕЗУЛЬТАТА. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДБОРУ ПАРАМЕТРОВ И ОБУЧЕНИЮ СЕТИ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-4-112-114

В данной статье при помощи ряда экспериментов выявлены основные принципы правильного обучения искусственной нейронной сети (ИНС), получены общие закономерности по подбору параметров нейросетевой модели обучения. Также рассмотрено влияние количества обучающей выборки, величины запаздывания на достоверность полученного от ИНС результата. Обучения ИНС проводились по алгоритму Левенберга – Марквардта при помощи прикладного программного пакета The Neural Network Fitting Tool (Matlab).

Ключевые слова: *искусственная нейронная сеть, обучающая выборка, модель динамического объекта, запаздывание ИНС, среднеквадратическая ошибка.*

Среди всех информационно-вычислительных новшеств современного мира существует инструмент, привлекающий особое внимание людей- это искусственные нейронные сети. Данные нейронные сети похожи на биологические и состоят из процессоров со множеством связей, которые функционируют параллельно как единое целое. Они моделируют элементарные процессы, ассоциируемые с процессами головного мозга человека, например, обучение на основе полученного опыта, извлечение нужной информации из большого ее количества, обобщение. Нейронные сети применяются при оптимизации, управлении, прогнозировании, классификации образов, кластеризации в разных сферах человеческой деятельности.

Математически, искусственный нейрон осуществляет преобразование вектора входных сигналов (воздействий) X в вектор выходных сигналов Y при помощи функции, называемой функцией активации. В рамках соединения искусственной нейронной сети функционируют три вида нейронов: входные (принимающие информацию из внешнего мира – значения интересующих нас переменных), выходные (возвращающие искомые переменные – к примеру, прогнозы, или управляющие сигналы), а также промежуточные – нейроны, выполняющие некие внутренние («скрытые») функции. Классическая искусственная нейронная сеть, состоит из трех или более слоев нейронов, причем на втором и последующих слоях («скрытых» и выходном) каждый из элементов соединен совсеми элементами предыдущего слоя. На рисунке 1 показана структурна нейронной сети.

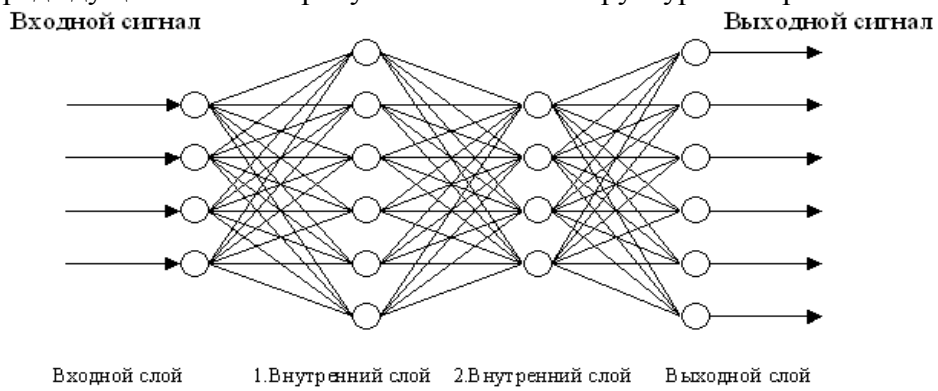


Рис.1 – Структура нейронной сети

В настоящее время есть достаточное количество прикладных программ для создания ИНС, но неправильное задание параметров обучающей сети и пренебрежение рядом важных особенностей обучения приводит, при использовании полученной нейросетевой модели к большим отклонениям от реальной модели исследуемой системы.

Ввиду того, что начинающие ученые-практики сталкиваются с затруднениями при выборе структурных параметров ИНС из-за малого количества научных работ, рассматривающих влияние параметров сети и размера обучающей выборки на результат обучения ИНС, данное исследование является актуальным.

В качестве исследуемой системы в прикладном пакете *Simulink (Matlab)* построена динамическая модель с тремя независимыми входами, в нашем случае возмущениями (рисунок 2) которые поступают на объект с транспортным запаздыванием tz=5 единиц. Для создания возмущений используется сигнал «Белый шум» пропущенный через фильтр.

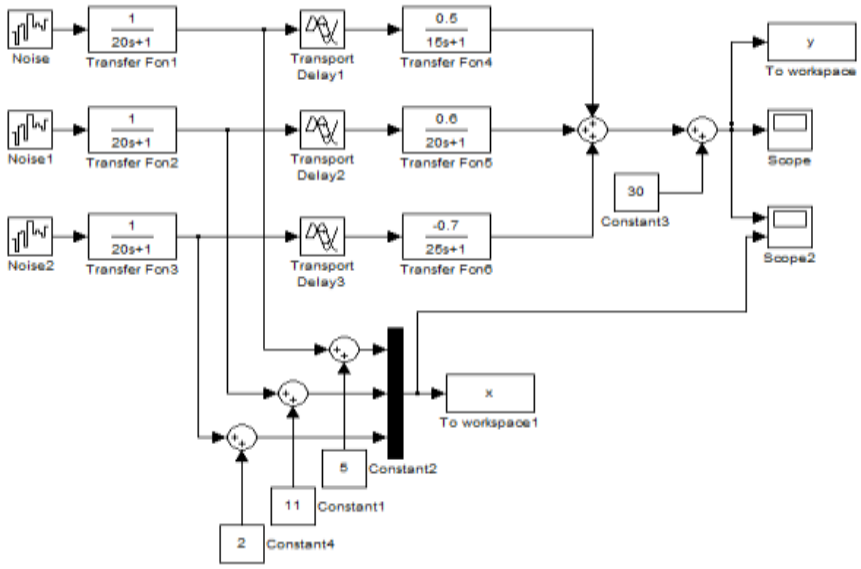


Рис.2 – Исследуемая динамическая система

С помощью рассмотренной выше динамической системы получаем обучающие и тестирующие выборки для ИНС. Важной особенностью является то, чтобы диапазон изменения величин тестирующей выборки входил в диапазон обучающей и в тоже время обе выборки должны иметь различные значения. Данные условия нужны для адекватности оценивания результатов эксперимента.

Целью обучения ИНС сети является прогнозирование поведения объекта при подаче на его вход возмущений. В данном исследовании сеть обучается по хорошо зарекомендовавшему себя алгоритму Левенберга – Марквардта, который используется при решении задач о наименьших квадратах и является альтернативой метода Ньютона. Ввиду того, что функцией активации при проведении эксперимента является гиперболический тангенс с областью значений от -1 до 1, произведено масштабирование выборок, полученных в результате моделирования объекта.

Для выявления влияния структурных параметров и количества обучающей выборки на результат обучения ИНС выполним следующие действия:

— делим отмасштабированную обучающую выборкуна массивы по 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900 и 1000 единиц так, чтобы диапазон изменения значений каждого массива был больше, чем в тестирующей выборке;

— от масштабированную тестирующую выборку оставляем неизменной в размере 1000 единиц;

— обучаем и тестируем нейронную сеть несколько раз, меняя после каждой группы экспериментов количество нейронов в скрытом слое ИНС от 2 до 10, величину запаздывания от 4 до 6 и размер обучающей выборки согласно полученным ранее массивам значений.

— по результатам каждого обучения и тестирования ИНС считаем среднеквадратическую ошибку между выходом нейронной сети и действительным значением, после чего выбираем наименьшую и заносим в таблицу результатов.

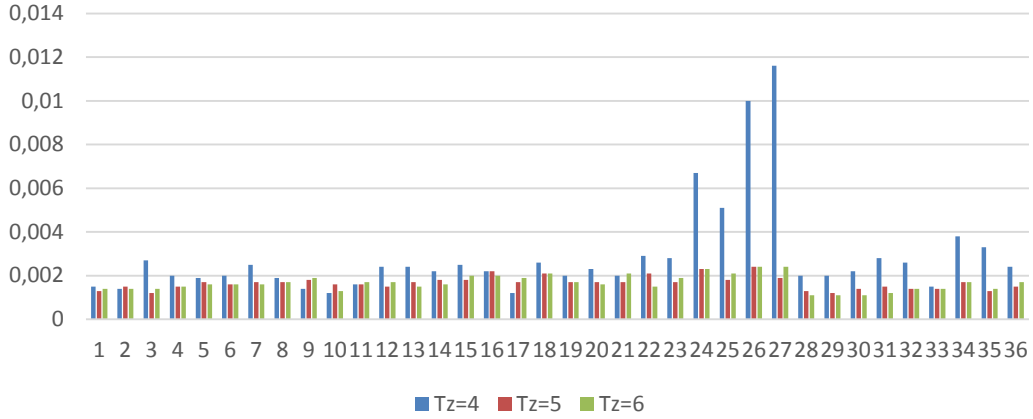


Рис.3 – Влияние запаздывания ИНС на качество обучения

При оценивании результатов эксперимента можно заметить, что существует зависимость между параметром ИНС «запаздывание» и транспортным запаздыванием исследуемой системы. На рисунке 3 показаны величины среднеквадратических ошибок при изменении запаздывания ИНС, подсчитанных для самых репрезентативных обучающих выборок, а именно для массивов размером 1000, 900, 800, 700 значений

Исходя из рисунка 3 видно, что при запаздывании ИНС меньшем, чем запаздывание самой исследуемой системы величина ошибка значительно крупнее, ежели при величине запаздывания равном или большем ИНС.

Также при анализе полученных результатов выяснилось, чем больше размер обучающей выборки, тем меньше ошибка обучения сети. Это связано с тем, что выборка должна быть как можно более репрезентативной, а именно разносторонне и полно описывать исследуемую систему, включать в себя различные возможные состояния.

Нельзя не отметить, что при построении простых систем не целесообразно увеличивать количество обучаемых нейронов, т.к. это не приведет к уменьшению ошибки обучения. Для простых систем вполне достаточно 3-4 нейронов. Из этого наблюдения можно сделать вывод, что сложность ИНС должна быть сопоставлена сложности системы.

При создании и обучении ИНС следует:

— сопоставлять количество нейронов и сложность исследуемой системы;

— обучать ИНС только на репрезентативной выборке;

— в зависимости от функции активации нормировать и центрировать обучающую выборку;

— использовать новые алгоритмы обучения: Левенберга-Марквардта, *BFGS, Conjugate Gradients;*

— обучать нейронные сети при использовании программ таких как *Matlab*и дружественные ей.

Список литературы

1. *Круглов В.В., Голунов Р.Ю.* «Нечеткая логика и искусственные нейронные» сети. 2001. – 257 с.

2. *Саймон Хайкин* «Нейронные сети полный курс» 2016. – 1104 с.

05.13.18

А.В. Волков, М.А. Бобров

Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва,
факультет электронной техники, кафедра электроники и наноэлектроники,
Саранск, bobrovma92@mail.ru, elsoldador@rambler.ru

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ФОТОЭЛЕКТРИЧСКОЙ ЭНЕРГИИ НА ОСНОВЕ GaN–ТРАНЗИСТОРА И КОМПЛЕКСНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ТРАНЗИСТОРОВ ИЗ НИТРИДА ГАЛЛИЯ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-4-115-117

В статье рассматриваются достоинства и недостатки транзисторов из нитрида галлия по сравнению с транзисторами из кремния и карбида кремния и аналитический расчет для преобразователя фотоэлектрической энергии на основе GaN–транзистора EPC2020.

Ключевые слова: *транзистор, преобразователь, нитрид галлия, кремний, карбид кремния, электронные приборы, оптоэлектроника, силовая электроника.*

Своим развитием современная электроника обязана кремнию. Но этот материал приблизился к пределу своих возможностей. Прогресс требует более мощных, быстрых, малошумящих устройств. Но есть альтернативный вариант кремнию — нитрид галлия (GaN) [1]. Гетероструктуры GaN и его твердых растворов обладают физическими свойствами, которые обеспечивают электронным приборам, выполненным на их основе, высокие оптические, мощностные и частотные характеристики, что позволяет применять их в разных областях полупроводниковой электроники [2]. Сравнение транзисторов из нитрида галлия с транзисторами из кремния (Si) и карбида кремния (SiC):

Использование GaN–транзисторов дает неоспоримое преимущество перед транзисторами, изготовленными на основе кремния. Некоторые объективные факторы свидетельствуют о том, что кремниевая технология подходит к границам своих возможностей. Это достаточно хорошо видно на примере силовой электроники (рисунок 1) [3].

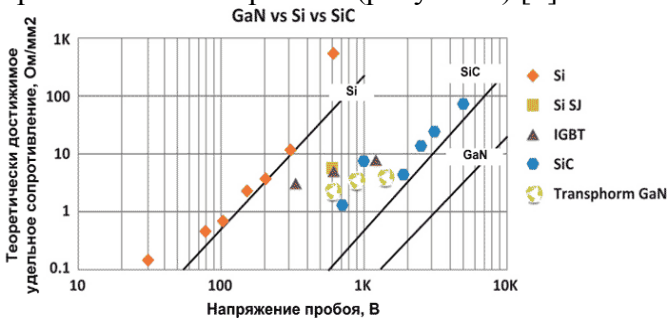


Рис. – 1. Теоретически достижимые значения удельного сопротивления различных материалов

Долгое время кремний не имел конкурентов, так как германий и селен значительно уступали ему практически по всем важным показателям. Позже полупроводниковые свойства были открыты и у новых материалов – арсенида и нитрида галлия, карбида кремния GaN – более перспективный материал, чем кремний (таблица 1). Высокая критическая напряженность поля у GaN дает потенциальную возможность реализовывать более высоковольтные приборы. Большая ширина запрещенной зоны обеспечивает высочайшую стабильность свойств при изменении температуры или воздействии радиации. Высокая подвижность электронов и дрейфовая скорость определяют значительно меньшее сопротивление в проводящем состоянии и высокую удельную мощность по сравнению с Si. Показательным является анализ зависимости удельного сопротивления от напряжения пробоя для различных полупроводников, их характеристика практически линейная (рисунок 2). Однако при одном и том же значении напряжения сопротивление GaN оказывается значительно ниже.

Таблица 1. Характеристики некоторых полупроводниковых материалов

Параметр	Материал		
	GaN	Si	SiC
Ширина запрещенной зоны, эВ	3.4	1.12	3.2
Критическая напряженность, МВ/см	3.3	0.3	3.5
Дрейфовая скорость насыщения электронов, x10^7 см/с	2.5	1	2
Подвижность, $см^2/(В*с)$	990...2000	1500	650
Диэлектрическая проницаемость	9,5	11,4	9,7

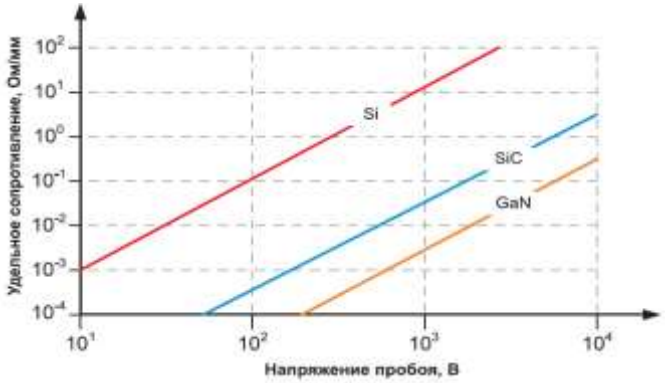


Рис. –2 Зависимость удельного сопротивления от напряжения пробоя от различных полупроводников

В результате GaN–транзисторы имеют на порядок большую удельную мощность, что должно приводить к значительному уменьшению габаритов по сравнению с традиционными кремниевыми элементами [4].

Получили развитие технологические способы улучшения характеристик структур. При углублении подзатворной области путем плазмохимического травления улучшаются многие параметры (например, крутизна характеристики транзистора) вследствие уменьшения расстояния затвор-канал, снижается сопротивление истока и стока из-за отсутствия режима обеднения областей затвор-исток и затвор-сток транзистора, уменьшаются или даже устраняются переходные процессы при включении транзистора из-за снижения влияния ловушек в области затвор-сток, так как поверхность, на которой они находятся, может быть отодвинута на безопасное расстояние.

Применение новых материалов для транзисторных гетероструктур на основе GaN и его твердых растворов позволяет увеличить более чем в два раза импульсный ток транзистора, его крутизну и значительно уменьшить время включения за счет компенсации поверхностных состояний.

Силовые GaN–транзисторы могут применяться в импульсных преобразователях напряжения, источниках бесперебойного питания, солнечных электростанциях и ветряных генераторах, гибридных и электрических транспортных средствах. Высокая эффективность компонентов GaN важна и для систем питания от нестабильных природных источников энергии – солнца, ветра[4].

Рассмотрим аналитический расчет для преобразователя фотоэлектрической энергии на основе GaN–транзистора EPC2020.

Исходные данные: $U_{ВХ}$= 48 В, $U_{ВЫХ}$=24 В, $I_{ВХ}$=10 А, $I_{ВЫХ}$=I_{max}=20 А, U_t=15 В.

$$I_{Т} = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} \vartheta_{И.Т} I_{Тmax} sin\omega t d\vartheta; \quad (1)$$

где $\vartheta_{И.Т} = \frac{1}{2}[1 + Msin(\omega t + \varphi] = \frac{t_{И.Т}}{Т_Т}$ – текущее значение относительной длительности импульса тока вентиля (в интервале такта T_T); φ – фаза выходного тока инвертора относительно первой гармоники выходного напряжения инвертора; M – глубина широтно-импульсной модуляции, задаваемая отношением амплитуды модулирующего сигнала к амплитуде симметричного треугольного опорного сигнала.; $\boldsymbol{I}_{Tmax}$ – амплитуда синусоиды выходного тока инвертора.

После вычисления интеграла получим:

$$I_T = \frac{I_{\max}}{2\pi}(1 + \frac{M\pi}{4}cos\varphi) = 11{,}2\ A. \quad (2)$$

Среднее значение тока обратных вентилей инвертора определяется как разница средних значений полуволны выходного тока инвертора и тока транзистора:

$$I_{Д=}\frac{1}{\pi}I_{\max} - I_T = \frac{I_{\max}}{2\pi}(1 - \frac{M\pi}{4}cos\varphi) = 4{,}82\ A. \quad (3)$$

На основе сформулированного подхода вычисляется действующее значение тока транзистора следующим образом:

$$I_{Т.Д.} = \sqrt{\frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi}\vartheta_{И.Т.}I_{T\,\max}^2 sin^2\omega t d\vartheta} = \frac{I_{max}}{\sqrt{2}}\sqrt{\frac{1}{4} + \frac{2M}{3\pi}cos\varphi} = 13{,}63\ A. \quad (4)$$

В соответствии с отмеченным рассмотрением тока диода как дополняющего в нулевые паузы ток транзистора до полуволны синусоиды действующее значение тока диода будет очевидно равно:

$$I_{Д.Д} = \sqrt{\frac{I_{max}}{2} - I_{Т.Д}^2} = \frac{I_{max}}{\sqrt{2}}\sqrt{\frac{1}{4} - \frac{2M}{3\pi}cos\varphi} = 8{,}59A. \quad (5)$$

Действующее значение входного тока инвертора при симметричных фазах нагрузки:

$$I_{ВХ.Д} = I_{max}\frac{\sqrt{6}}{8}\sqrt{4 - M^2 + 4M^2cos^2\varphi} = 36{,}1A. \quad (6)$$

Коэффициент гармоник входного тока инвертора, определяющий степень загрузки токами высших гармоник конденсатора фильтра в звене постоянного напряжения инвертора, будет равен:

$$K_{Г.Т.ВХ} = \frac{\sqrt{I_{ВХ.Д}^2 - I_{ВХ.СР}^2}}{I_{ВХ.СР}} = \sqrt{\frac{4 - M^2 + 4M^2cos^2\varphi}{6M^2cos^2\varphi} - 1} = 0{,}75. \quad (7)$$

Электрические потери в силовых ключах трехфазного АИН, выполненного по мостовой схеме:

$$P_n = 4 \cdot P_k \quad (8)$$

где $P_к$ – мощность потерь энергии в силовом ключе.

Мощность потерь в силовом ключе инвертора определяется следующим выражением:

$$P_k = I_{Т.Д} \cdot U_{gr} + I^2{}_{Д.Д} \cdot R_{dif}, \quad (9)$$

Подставляя выражение (9) в (8) получим:

$$P_n = 4 \cdot \left(I_{Т.Д} \cdot U_{gr} + I_{Д.Д}^2 \cdot R_{dif}\right). \quad (10)$$

где U_{gr} – граничное падение напряжения при прямом и обратном токах; R_{dif}– дифференциальные сопротивления при прямом и обратном токах. Значение U_{gr}и R_{dif} определяются из паспортных данных на конкретный модуль (в нашем случае значение U_{gr}= 1,4 В, R_{dif}= 0,0002 Ом).

Подставляем значения в (10) получим:

$$P_n = 4 \cdot \left(I_{Т.Д} \cdot U_{gr} + I_{Д.Д}^2 \cdot R_{dif}\right) = 19{,}098\ \text{Вт}. \quad (11)$$

Полученные значения мощности потерь в силовых ключах инвертора соответствуют данным рекомендациям [1]. Специальный подбор силовых ключей в преобразователе фотоэлектрической энергии не осуществлялся. Из всего вышеперечисленного следует, что при достаточно высоких характеристиках транзистора мощность потерь на нем минимальна, по сравнению с преобразователями, выполненными на основе кремниевых ключей это дает возможность применять GaN–транзисторы для преобразователя фотоэлектрической энергии без увеличения массогабаритных показателей.

Список литературы

1. *И.Ш. Мустафин, А.В. Волков, А.А. Попов* Анализ коммутационных потерь в силовых ключах инвертора // Научно-технический вестник Поволжья.2015.№5. С.239–241.

2. *Юнович А. Э.* Светодиоды на основе гетероструктур из нитрида галлия и его твердых растворов // Светотехника. 1996. Вып. 5/6. С. 2–7.

3. *Федоров Ю.* Широкозонные гетероструктуры (Al, Ga, In)N и приборы на их основе для миллиметрового диапазона длин волн//Электроника НТБ.2011. № 2.

4. *Туркин А. Н.* Нитрид галлия как один из перспективных материалов в современной оптоэлектронике // Компоненты и технологии. 2011. № 5. С. 6–10.

05.13.06

Д.А. Даденков, Ф.Н. Баянов

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
электротехнический факультет, кафедра «Микропроцессорные средства автоматизации»,
bayanoffedia@gmail.com

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ЭКСПРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА БАЗЕ УЧЕБНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОГО ПРОИЗВОДСТВА

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-4-118-121

В данной работе рассматривается разработка автоматизированной системы экспериментальных исследований для построения математической модели методом планирования эксперимента. Ставится задача разработать алгоритмы снятия и обработки экспериментальных данных в среде LabVIEW в соответствии с выбранным планом.

Ключевые слова: *автоматизация, экспериментальные данные, планирование эксперимента, математическая модель, уравнение регрессии.*

Технологический процесс производства бумажного полотна является сложным многостадийным технологическим процессом, каждая стадия которого содержит большое количество задач, связанных с настройкой локальных контуров регулирования. Все контуры регулирования требуют тщательной настройки для достижения необходимых показателей качества бумажного полотна. При этом для синтеза регуляторов необходимо построение математических моделей объектов, а поскольку описать физику процессов является достаточно сложной задачей, то возникает необходимость разработки системы способной рассчитывать математическую модель необходимого объекта.

Для решения подобных задач на кафедре микропроцессорных средств автоматизации совместно с группой предприятий «ПЦБК» создана учебно-экспериментальная установка [1]. Предлагается решить задачу построения математической модели исследуемого участка, используя методы теории планирования эксперимента [2, 3].

В качестве контура для экспериментальных исследований выбран контур, выделенный на рисунке 1 красной штриховой линией.

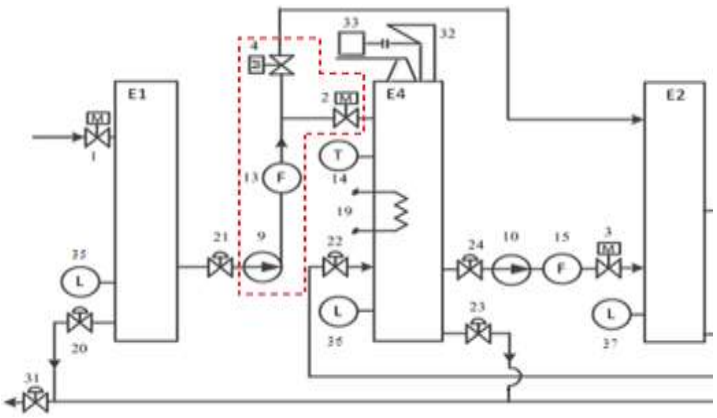


Рис. 1 – Контур лабораторной установки для экспериментальных исследований

Исследуемый контур состоит из насоса 9, расходомера F13, и двух регулирующих клапанов M2 и M4.

По результату анализа многочисленных методов планирования [2, 3] был выбран ортогональный центральный композиционный план (ОЦКП) второго порядка, так как выявлено что в технологическом процессе имеется нелинейная зависимость расхода от частоты вращения насоса. Поэтому необходимо варьировать факторы на трех или пяти уровнях, а для этого нужно достроить план полнофакторного эксперимента до плана второго порядка добавив к «ядру» определенное количество «звездных» и нулевых точек [2]. В частности, для нашего случая ОЦКП для трех факторов имеет относительно небольшое количество опытов:

$$N = 2^n + 2n + n_0 = 2^3 + 2 \cdot 3 + 1 = 15 \quad (1)$$

Варьирование входных факторов представлено в таблице 1.

Таблица 1 – Варьирование входных факторов

	Среднее	Δ	Δα	1-а	α^2-а	-а
x_1, Гц	30	10	12	2,7	7,5	-7,3
x_2, %	50	30	36	8,1	22,5	-21,9
x_3, %	50	30	36	8,1	22,5	-21,9

Каждый фактор фиксируется на пяти уровнях: - α; -1; 0; 1; + α, где x_1 – величина задания частоты на частотный преобразователь насоса, x_2 – величина открытия клапана №1, x_3 – величина открытия клапана №*2*.

Для ОЦКП при числе факторов n=3 получаем следующие параметры плана:

$$a = \sqrt{\frac{8}{15}} \approx 0{,}73, \ \alpha = \sqrt{\frac{1}{2}(\sqrt{15 \cdot 8} - 8)} \approx 1{,}215 \quad (2)$$

По результатам опытов плана формируем модель в виде полинома:

$$y = b_0^{'} + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_{12} x_1 x_2 + b_{13} x_1 x_3 + b_{23} x_2 x_3 + b_{123} x_1 x_2 x_3 + b_4 x_1^2 + b_5 x_2^2 + b_6 x_3^2 \quad (3)$$

Определим коэффициенты полинома согласно выражениям [3]:

$$b_i = \frac{\sum_{u=1}^{N} x_{iu} Y_u}{\sum_{u=1}^{N} x_{iu}^2}, \ b_0' = b_0 - b_4 a + b_5 a - b_6 a \quad (4)$$

В результате расчетов полином (3) принял вид:

$$y = 0{,}39 + 0{,}15 x_1 + 0{,}11 x_2 + 0{,}12 x_3 + 0{,}04 x_1 x_2 + 0{,}05 x_1 x_3 + 0{,}06 x_2 x_3 + 0{,}03 x_1 x_2 x_3 + 0{,}0013 x_1^2 + 0{,}0005 x_2^2 + 0{,}0003 x_3^2 \quad (5)$$

Критерий Кохрена показал, что для p=0,05 и чисел степеней свободы f_1=n-1=4-1=3, f_2=N=15, расчетное значение критерия удовлетворяет условию $G_{расч}$<$G_{табл}$,. Следовательно, дисперсии однородны [2].

После оценки значимости коэффициентов уравнения (5) по критерию Стьюдента [2] выявлено, что для все расчетные коэффициенты превышают табличные значения, поэтому все коэффициенты значимы.

Оценка адекватности модели выполняется по критерию Фишера [2], в результате расчётов для p=0,05, f_1=12, f_2=15 значение критерия Фишера удовлетворяет условию $F_{расч}$<$F_{табл}$. Следовательно уравнение регрессии (5) адекватно эксперименту.

Снятие экспериментов и вычисление математической модели объекта вручную достаточно затратный по времени и достаточно сложный процесс, поэтому для автоматизации процессов снятия и обработки экспериментальных данных предлагается разработать специальный программно-технический комплекс. Разработку программной части предлагается производить в среде программирования фирмы *National Instruments LabVIEW* [4] используя дополнительным модулем *Datalogging & Supervisory Control Module* (*DSC*), который предназначен для графической разработки приложений мониторинга и управления.

Приложение, реализованное в *LabVIEW*, состоит из двух основных алгоритмов для снятия и обработки экспериментальных данных (рис. 2). В начале работы пользователь вводит исходные данные и запускает специальную процедуру для снятия экспериментальных данных. Согласно разработанному алгоритму программа из матрицы эксперимента передает значения входных факторов, для каждого опыта, на контроллер, который в свою очередь передает необходимые управляющие воздействия на исполнительные механизмы (насос, клапаны). С датчика расхода записывается массив точек, а в конце процедуры снятые данные из массива выгружаются в файл.

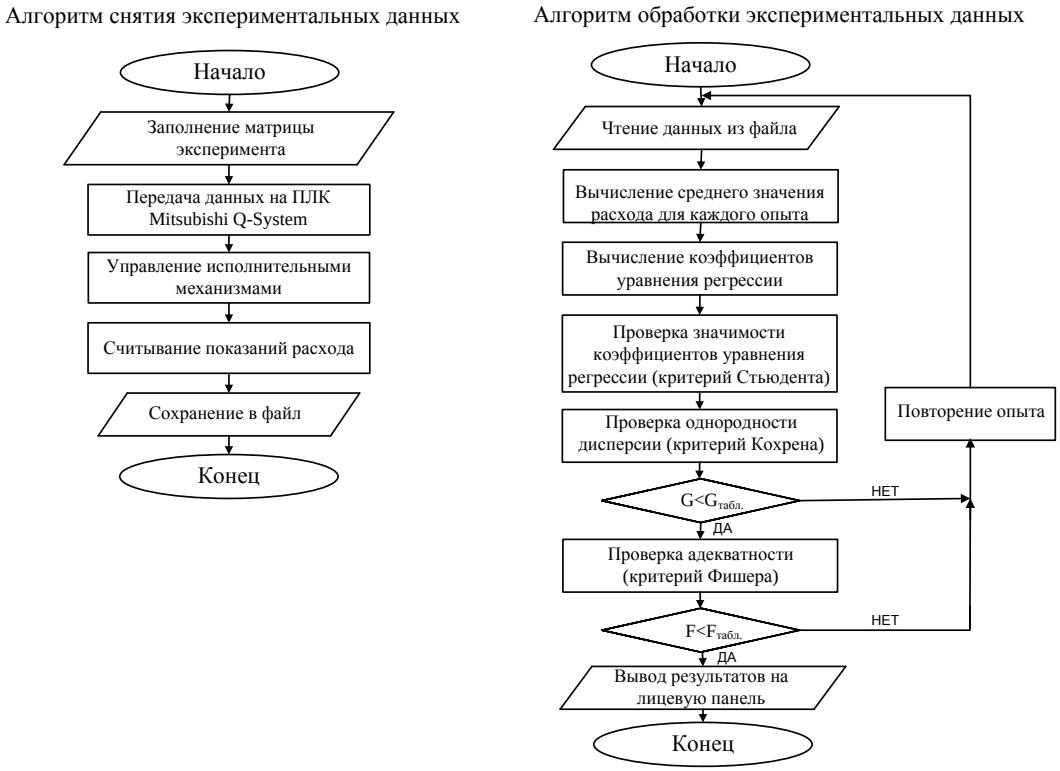


Рис. 2 – Алгоритмы снятия и обработки экспериментальных данных

Чтобы запуска процедуры обработки экспериментальных данных пользователю необходимо открыть полученный на этапе снятия экспериментальных данных файл и запустить алгоритм построения уравнения регрессии и статистической проверки результатов.

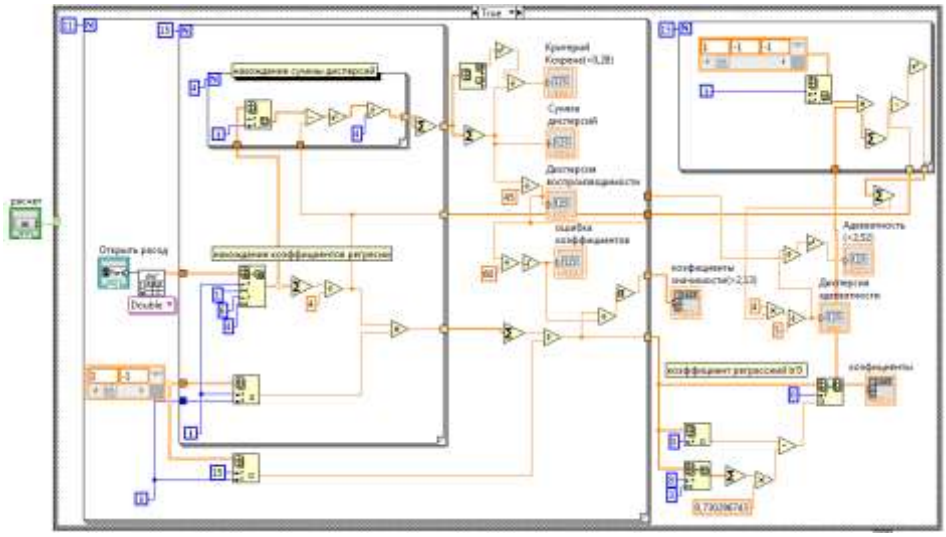


Рис. 3 – Блок-диаграмма обработки результатов эксперимента

На рисунке 3 представлена блок-диаграмма обработки результатов эксперимента. Данные эксперимента представляются в виде двумерного массива, поэтому вся обработка сводится к работе с массивами и элементарными математическим операциям. В процессе обработки на лицевую панель выводятся все результаты вычислений и графики, требуемые по плану эксперимента.

Интерфейс программного комплекса для экспериментальных исследований (рис. 4) позволяет пользователю быстро разобраться в элементах управления и индикации.

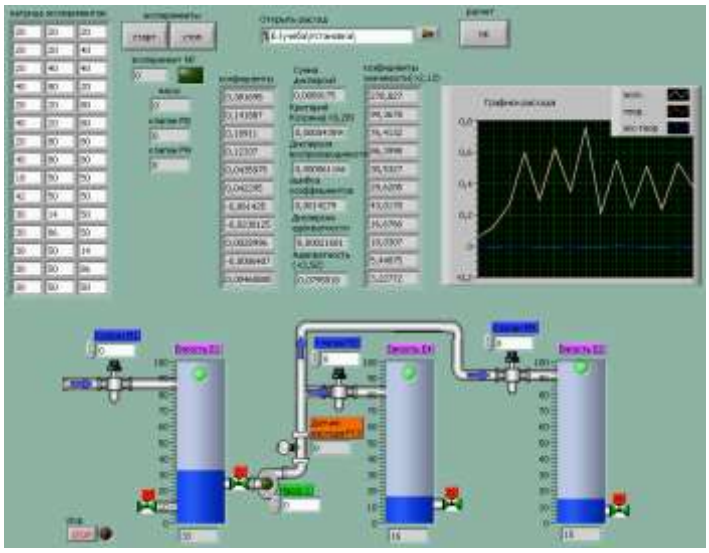


Рис. 4 – Интерфейс программного комплекса

Список литературы

1. *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 (2-30 ноября 2009 г.)

2. *Сидняев Н. И.* Теория планирования эксперимента и анализ статистических данных. – М.: Юрайт, 2013. – 400 с.

3. *Тихомиров В. Б.* Планирование и анализ эксперимента. М.: «Легкая индустрия», 1974. − 262 с.

4. *Пейч Л., Точилин Д., Поллак Б.,* LabVIEW для новичков и специалистов. – М.: Горячая Линия – Телеком, 2004. – 384 с.

05.13.06

С.Н. Дербенева, А.А. Бачурин

Пермский Национальный Исследовательский Политехнический Университет,
кафедра микропроцессорных средств автоматизации,
Пермь, dsvetikn@mail.ru, a.bachurin@pstu.ru

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПОТЕРЬ В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-4-122-124

В данной статье рассматриваются различные способы расчета технических потерь в системе электроснабжения. Представлена классификация потерь в различных классах оборудования. Разработана методика расчета потерь для различного оборудования. Рассмотрены различные программные комплексы для расчета потерь.

Ключевые слова: *классификация потерь, методика расчета, программные комплексы.*

Основным из показателей эффективной работы системы электроснабжения являются потери. Именно они позволяют понять проблемы, существующие в электрических сетях, и найти пути их решения. Для этого необходимо разработать методику расчета технических потерь в системах электроснабжения, а, именно, силовых трансформаторах, кабельных линиях. Но для того, чтобы правильно разработать методику расчета, необходимо знать все составляющие потерь в оборудовании. Более подробно составляющие потерь представлены в классификации

Классификация потерь в системе электроснабжения

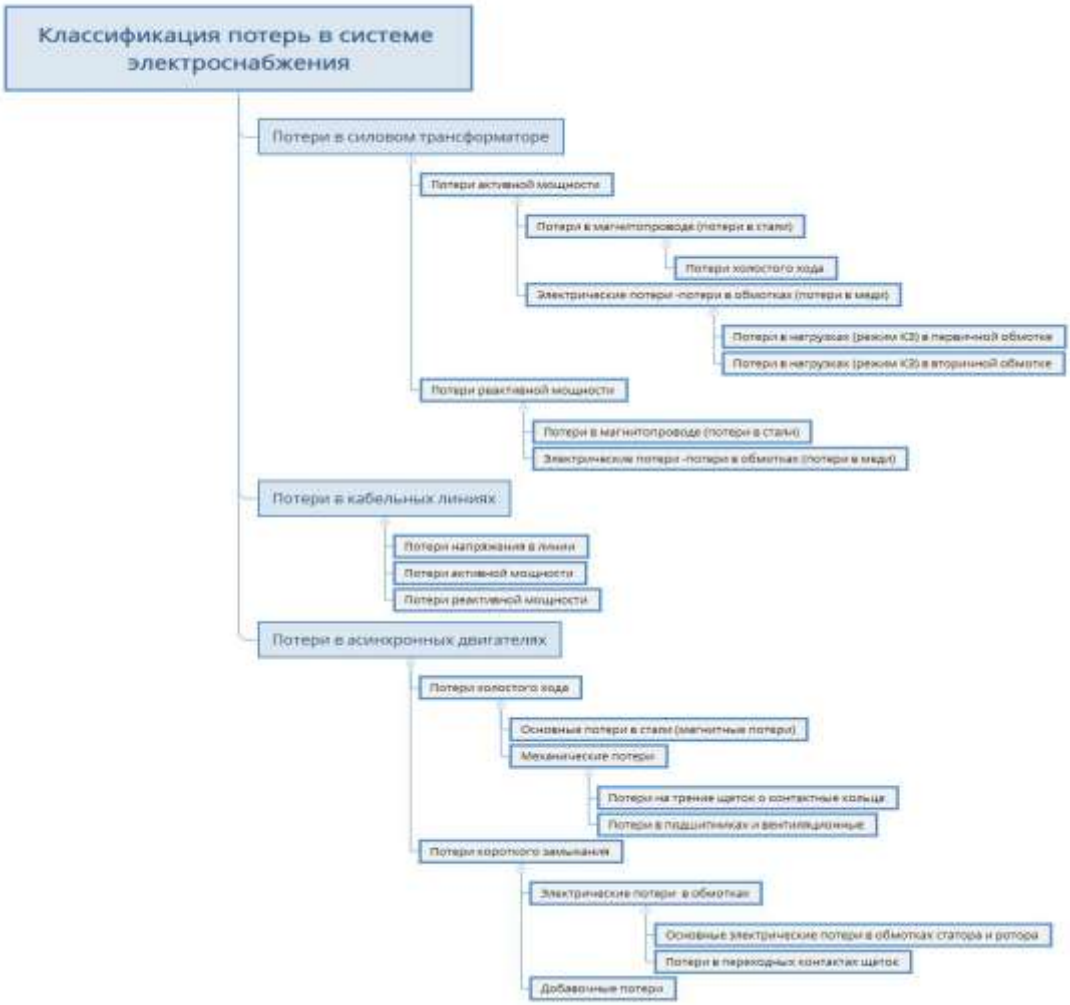


Рисунок 1 - Классификация потерь в системе электроснабжения

Методика расчета потерь системы электроснабжения

Расчет потерь в силовом трансформаторе

Активные потери в меди можно рассчитать по формуле (1):

$$P_M = \beta^2 \cdot P_к \quad (1)$$

Реактивные потери в меди рассчитываются по формуле (2):

$$\Delta Q_M = 3 \cdot I^2 \cdot X_{тр} = 3 \cdot I^2 \cdot \frac{U_{кз}\% U_н^2}{100 \cdot S_н} = \frac{U_{кз}\% S_н^2}{100 \cdot S_н} \quad (2)$$

Реактивные потери в стали рассчитываются по формуле (3):

$$\Delta Q_{ст} = \sqrt{3} \cdot U_н \cdot I_{рхх} = \sqrt{3} \cdot U_н \cdot \frac{I_{хх}\% \cdot I_н}{100} = S_н \cdot \frac{I_{хх}\%}{100} \quad (3)$$

Если известны токи и сопротивления в первичной и вторичной обмотках, то активные потери в меди можно рассчитать по формуле (4):

$$\Delta P_M = \Delta P_{м1} + \Delta P_{м2} \quad (4)$$

где $\Delta P_{м1} = I_1^2 \cdot r_1$ - активные потери в меди в первичной обмотке, кВт;

$\Delta P_{м2} = I_2'^2 \cdot r_2$ - активные потери в меди во вторичной обмотке, кВт

Потери в стали равны потерям холостого хода.

Расчет потерь в кабельных линиях

Потери активной мощности в линии рассчитываются по формуле (5):

$$\Delta P = \frac{P^2 \cdot R_л}{U_н^2 \cdot cos^2\varphi} \quad (5)$$

Потери реактивной мощности в линии рассчитываются по формуле (6):

$$\Delta Q = \frac{P^2 \cdot X_л}{U_н^2 \cdot cos^2\varphi} \quad (6)$$

Сопротивление проводников также зависит от вещества, из которого они изготовлены, и их геометрических размеров и рассчитывается по формуле (7):

$$R = \frac{\rho \cdot l}{S}, \quad (7)$$

где ρ — удельное сопротивление вещества, из которого изготовлен проводник; l —длина проводника; S — площадь поперечного сечения проводника.

Общие потери в системе электроснабжения вычисляются путем суммирования потерь отдельных единиц оборудования входящих в систему.

Для автоматизации данных рутинных расчетов и исключения влияния человеческого фактора используются специализированные программные комплексы, выполняющие расчет потерь в системах электроснабжения.

Пример расчета потерь в силовом трансформаторе

Таблица 1 –Паспортные данные силового трансформатора

Модель	Мощность, кВА	Ном. напряжение обмоток ВН, кВ	Ном. напряжение обмоток НН, кВ	Потери х.х., кВт	Потери к.з., кВт	Ток х.х., %	Напряжение К.З. , %	Коэфф. нагрузки	Реак.сопр. Ом
	Sн	Uвнн	Uннн	dPххн	dPкзн	Iхх	Uкз	К	Х
ТМЗ-400/10/0,4	400	10	0,4	0,95	5,5	2,1	4,5	0,7	3,4

Используя данные таблицы 1 произведен расчет потерь в силовом трансформаторе.

Результаты расчета потерь в силовом трансформаторе представлены в таблице 2.

Таблица 2 –Результаты расчета потерь в силовом трансформаторе

Параметр	ΔP_{xx}, *кВт*	ΔP_{M}, *кВт*	ΔQ_{cm}, *квар*	ΔQ_{M}, *квар*	Итого, общие потери *S, кВА*
Значение	0,95	2,695	8,4	18	17,6

Обзор программных комплексов

Программный комплекс «РАП-95» предназначен для выполнения расчетов технических потерь электрической энергии в оборудовании сетей и подстанций различного класса напряжения.

Программный комплекс «EnergyCS Потери» предназначен для выполнения расчетов потерь электрической энергии при передаче по сетям электроэнергетических систем любой сложности, а также для прогнозирования потерь.

Данные программные комплексы сочетают в себе расчет, как различных видов оборудования, так и системы электроснабжения в целом, но являются не полными, так как основываются на простых формулах расчета потерь электрической энергии.

Выводы

В работе была представлена более полная методика расчета потерь активной, реактивной мощности, потерь напряжения, которую возможно использовать в новом программном комплексе.

Список литературы

1. *Грудинского П.Г.* Электротехнический справочник. Т.1. Под общ. ред. и др. Изд. 5-е, испр. М., «Энергия» , 1974. – 776 с.: ил.

2. *Глаз А.И.* Справочник молодого электротехника. 5-е, доп.изд. М., «Высшая школа», 1964. – 776 с.: ил.

3. *В.Г. Сенчев, А.К. Азаров, В.С. Аушев и др*. Справочник энергетика строительной организации. В 2 т. Т.1. Электроснабжение строительства –2-е изд., перераб. И доп. –М.: Стройиздат, 1991. -640 с.: ил.- (Справочник строителя).

4. *Калимуллин А. Т., Лесков И. А., Темников Е. А., Грабовецкая К. А.* Анализ суточного графика электрической нагрузки жилого дома. Расчет потерь электроэнергии для трансформатора и кабельной линии.- Екатеринбург: «Международный научно-исследовательский журнал», Вып.№10 (52) Часть 2. Октябрь, 2016, 207 с. (53-56)

5. *Железко Ю.С., Артемьев А.В., Савченко О.В.* Расчет, анализ и нормирование потерь электроэнергии в электрических сетях: Руководство для практических расчетов. — М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2002. -280 с.: ил

05.13.06

С.Н. Каменских, А.А. Широков

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
электротехнический факультет, кафедра микропроцессорных средств автоматизации,
Пермь, KamenskikhSN_1993@mail.ru, shirokov@pstu.ru

АНАЛИЗ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОТОКОВ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-4-125-127

В статье приводится анализ информационных потоков промышленного предприятия и предлагается их классификация. Выявлены особенности информационных потоков, которые могут быть использованы для рационального выбора информационных систем.

Ключевые слова: *информационные потоки, классификация информационных потоков, управленческая документация, техническая документация, технологическая документация.*

Любое промышленное предприятие в своей деятельности оперирует тремя основными потоками: материальным, обеспечивающим переработку сырья или комплектующих в готовую продукцию, пользующуюся спросом; финансовым, движущимся от покупателя (заказчика) и обеспечивающим финансами все стороны жизнедеятельности предприятия; информационным, сопровождающим оба предыдущих потока и решающим фактически все задачи управления на всех уровнях.

Анализ информационных потоков – связующее звено между изучением существующей системы управления предприятием и ее совершенствованием [1].

В данной статье рассматриваются информационные потоки промышленного предприятия с целью их классификации по системе признаков. В свою очередь предложенная классификация может служить основой для оптимизации информационных потоков и обоснования выбора автоматизированных информационных систем, обеспечивающих их функционирование.

При анализе информационных потоков рассматривается схема промышленного предприятия. В качестве примера предложена структура предприятия, обеспечивающего многопредметный поток производства. Данная стратегия предполагает периодическую перестройку производственных процессов, для чего производится выпуск новой или модификация технической и технологической документации. Существенным является процесс реализации продукции в условиях продажи мелкими и средними партиями с привлечением большого количества потребителей.

Структура предприятия приведена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Структура производственного предприятия

Для того чтобы провести анализ информационных потоков на основе структуры предприятия, необходимо рассмотреть все потоки, функционирующие между подразделениями, а также потоки взаимодействия с внешней средой. При анализе определяются принципы использования получаемой или разрабатываемой информации подразделениями и характер реакции на получаемую информацию.

В схеме информационных потоков может содержаться информация о количественных и качественных характеристиках, определяются каналы передачи и выявляются первичные (исходные) для предприятия данные.

Для промышленных предприятий большинство информационных потоков представлены в текстовых форматах (электронные документы). Отчетные данные часто формируются в виде таблиц. Графические форматы применяются в технической документации (чертежи), а также в системах принятия решений (как правило, в виде графиков и диаграмм).

Приведем классификацию информационных потоков для производственного предприятия. [2].

Таблица 1 – Классификация информационных потоков

По отношению к производственным функциям	По значению информации	По отношению к логистической и производственной системам	По степени открытости и уровню значимости	По времени возникновения и периодичности использования
Элементарные Комплексные Техническая документация Технологическая документация	Управляющие Нормативно-справочные Учетно-аналитические Вспомогательные	Внутренние Внешние Горизонтальные Вертикальные Входные Выходные	Открытые Закрытые Коммерческие Секретные Простые Заказные	Регулярные Периодические Оперативные Долгосрочные Online Ofline

Большинство информационных потоков охватывают несколько подразделений предприятия. При этом сами информационные потоки могут классифицироваться по целому ряду признаков. Тем не менее, совокупность одинаковых признаков могут помочь свести однотипные потоки в определенные группы.

Первый уровень классификации позволяет разделить информационные потоки на два класса:

1) по направлению перемещения потоков;

2) по характеру использования или формирования (разработке) потоков.

Направления перемещения информационных потоков формируют своего рода топологию потоков и указывают подразделения предприятия или конкретных специалистов, участвующих в обработке (хранении, передаче) информации.

Информацию по этой классификации разделяют на входные (входящие) и выходные (исходящие) потоки.

Входная и выходная информация, как правило, представляет собой оперативную информацию, ориентированную на структуры, взаимодействующие с внешней средой. С этой позиции ее можно рассматривать как внешние потоки. К использующим ее отделам относятся канцелярия, юридические и финансово-экономические отделы, а также часть производственных отделов, занимающихся снабжением и сбытом.

Данная информация, кроме оперативности, обладает свойством высокой важности, а прохождение ее через целый ряд отделов требует контроля согласования и своевременной передачи во внешнюю среду.

Другим признаком перемещения, как для внешней, так и для внутренней информации является ее перемещение как по горизонтали (между одинаковыми по иерархии подразделениями), так и по вертикали (от руководства к исполнителям и обратно).

Методология анализа внешних информационных потоков относительно хорошо изучена и реализована в ряде автоматизированных информационных систем, в частности, в системах электронного документооборота, системах взаимодействия с клиентами.

Менее изученной является классификация информационных потоков по характеру их использования или формирования.

По времени возникновения и периодичности использования различают регулярные, периодические, оперативные, долгосрочные, online и ofline информационные потоки. Если оценить принципы работы с данными потоками, то основными функциональными требованиями будут оперативность и своевременность обработки и создания документов (например, периодические отчеты), а также высокая изначальная степень готовности документов (использование различных форм и шаблонов).

Классификация по характеру использования потоков в первую очередь относится к внутренним информационным потокам.

Внутренние информационные потоки можно условно разделить с точки зрения классификации на несколько видов – управленческая, техническая и технологическая документация.

Управленческая документация является самой актуальной на предприятии и охватывает практически все отделы предприятия. Если рассматривать управленческую документацию с точки зрения классификации информационных потоков, то по степени открытости и значимости документация будет закрытой и секретной, по значению информации – управляющей, по отношению к производственным функциям – комплексной, по отношению к логистической и производственной системам – внутренней и входной, по времени возникновения и периодичности использования – регулярной и оперативной.

Особенностью управленческой документации является ее актуальность и оперативность.

Техническая документация представляет собой документы, которые используются при проектировании, создании и эксплуатации создаваемой продукции. Если рассматривать техническую документацию с точки зрения классификации информационных потоков, то по степени открытости и значимости документация будет закрытой, простой и заказной, по значению информации – нормативно-справочной, вспомогательной, по отношению к производственным функциям – базисной, по отношению к логистической и производственной системам – внутренней, по времени возникновения и периодичности использования – периодической.

Техническая документация создается группой специалистов, зачастую достаточно продолжительное время. Для технической документации важнее ее качество, чем оперативность ее создания. Как правило, изменения, которые вносятся в документацию при модификации изделий, носят комплексный характер и приводят к внесению изменений во многих документах и местах.

Технологическая документация представляет собой документы, использующиеся при организации выпуска новой продукции или для повышения производительности и качества производства. Если рассматривать технологическую документацию с точки зрения классификации информационных потоков, то по степени открытости и значимости документация будет закрытой и заказной, по значению информации – учетно-аналитической, вспомогательной, по отношению к производственным функциям – ключевой, по отношению к логистической и производственной системам – внутренней, входной, по времени возникновения и периодичности использования – периодическая.

Список литературы

1. *Кузнецова, Т.В.* Делопроизводство (документационное обеспечение управления) / Т.В. Кузнецова.– 5-е изд., испр.и доп.– М.: ООО "Журнал "Управление персоналом", 2007.– 528 с.
2. *Сапков В.В*. Информационные технологии и компьютеризация делопроизводства. / В.В. Сапков.– СПб.: Издательский центр «Академия», 2006. – 288 с.

05.13.06

[1]А.А. Клюкин, [2]С.Н. Каменских, [2]А.А. Широков

[1]Пермский государственный институт культуры,
факультет культурологии и социально-культурных технологий,
кафедра библиотечных и документально-информационных коммуникаций,
[2]Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
электротехнический факультет, кафедра микропроцессорных средств автоматизации,
Пермь, kaa@psiac.ru, kamenskikhSN_1993@mail.ru, shirokov@pstu.ru

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОТОКОВ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-4-128-130

В данной статье рассматривается принцип выбора автоматизированных информационных систем, в основу которого положены особенности обрабатываемых информационных потоков. Целью такого выбора является оптимизация использования информационных систем различными подразделениями предприятия, оперирующими информационными потоками с близкими свойствами.

Ключевые слова: *автоматизированные информационные системы, классификация автоматизированных информационных систем, характеристики информационных потоков.*

Для многих предприятий и организаций на сегодняшний день актуальна одна из следующих задач выбора автоматизированной информационной системы:

- для первоначального внедрения автоматизированной системы на всем предприятии;
- для модернизации существующей системы;
- для оптимизации структуры нескольких систем, имеющих повторяющийся функционал и использующихся в разных подразделениях.

Подобные задачи могут быть решены путем сравнения формальных описаний множества функций самих информационных систем

$$F_i=\{f_{i,1},..,f_{i,n}\}, \quad (1)$$

где

i – порядковый номер информационной системы;

$f_{i,к}$ ={0,1,2} – описание качества реализации k-ой функции в данной информационной системе, например, значение 0 соответствует отсутствию реализации функции, 1 – удовлетворительной реализации, а 2 – хорошей; и реально существующих на предприятии информационных потоков

$$P_j=\{p_{j,1},..,p_{j,m}\}, \quad (2)$$

где

j – порядковый номер информационного потока;

$p_{j,r}$ ={0,1} – функция обработки информационного потока.

Критерии выбора в каждом конкретном случае могут быть различными:

- наиболее полное покрытие множества P множеством F_i, в случае выбора единственной автоматизированной информационной системы;
- полное покрытие множества P множествами F_i и F_s в случае выбора нескольких систем;
- рейтинговое покрытие множества P множеством F_i с учетом качества реализации каждой функции $f_{i,к}$, и т.д.

Основная цель автоматизированных информационных систем – хранение информации и обеспечение эффективного поиска и передачи информации для наиболее полного удовлетворения информационных запросов большого числа пользователей. К основным

принципам автоматизации информационных процессов относят окупаемость, надежность, гибкость, безопасность, дружественность, соответствие стандартам [1]. Один из вариантов классификации систем представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Классификация автоматизированных информационных систем

По характеру обрабатываемой информации	По целевым функциям	По видам процессов управления	По отраслевому и территориальному признаку
- документальные информационные системы; - фактографические информационные системы	- информационно-справочные системы; - информационно-расчетные системы; - информационно-логические системы; - управленческие системы	- АИС управления технологическими процессами; - АИС оперативного управления; - АИС управления организационно-технологичес-кими процессами; - АИС научных исследований; - обучающие АИС	- отраслевые АИС; - территориальные АИС; - межотраслевые АИС

Большинство информационных потоков можно рассматривать как поток сообщений, представленных в текстовой, табличной или графической формах. К функциям обработки информации относятся такие действия, как создание, хранение, модификация, разделение и агрегирование сообщений. Потоки сообщений на предприятии можно разделить на регулярные, периодически повторяющиеся типы сообщений (например, ежедневный, ежемесячный и т.д. отчет), и спорадические, возникающие при наступлении каких-либо внешних по отношению к информационной системе или внутренних событий.

Каждое сообщение в любом информационном потоке имеет набор атрибутов, отражающих статус сообщения, - это может быть информация о степени готовности, уровне доступа и т.п.

К функциям управления потоками можно отнести перенаправление сообщения и изменение статуса сообщения.

Как показывает практика, приведенных функций достаточно для описания большинства информационных потоков предприятий.

С точки зрения обработки информационные потоки можно рассматривать как набор сообщений. Процесс их обработки конкретизируется за счет последовательности действий над этими сообщениями в алфавите функций обработки и управления для достижения определенных целей (рис. 1). В общем виде это можно представить как набор алгоритмов обработки данных в программировании. Таким образом, предложенный подход позволяет описать все многообразие функций управления предприятием.

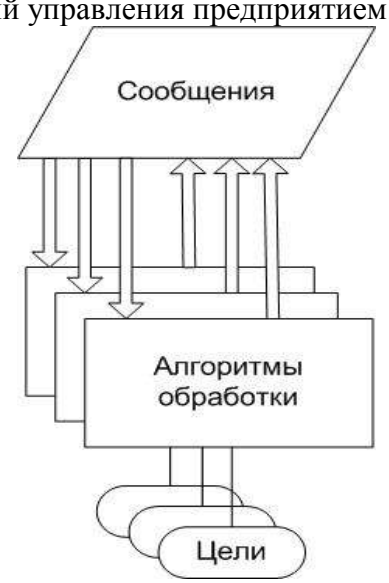


Рисунок 1 – Процессы обработки информационных потоков

В таблице 2 приведен пример функций производственного предприятия [2].

Таблица 2 – Функции производственного предприятия

Управленческие функции	**Производственные функции**	**Финансовые функции**	**Кадровые функции**
Контроль за деятельностью организации	Исследование спроса и прогноз продаж	Бухгалтерский учет и расчет зарплаты	Учет персонала организации
Анализ стратегических и тактических ситуаций	Анализ и прогноз производственных затрат	Финансовый прогноз и анализ	Контроль сроков, поощрений, взысканий, выслуги
Выявление тактических проблем	Рекомендации по снижению себестоимости	Составление финансового плана	Планирование отпусков
Обеспечение выработки решений	Учет заказов	Контроль расходов и доходов	Анализ и планирование переподготовки
		Корректировка бюджета	Анализ и прогноз потребности в трудовых ресурсах

Выбор автоматизированной информационной системы, позволяющей реализовать информационные потребности производственного предприятия основывается на изучении функций, реализованных в данной системе. Успешность выбора системы зависит от полного соответствия требований предприятия по обработке информационных потоков и возможностей информационной системы. Сопоставление выполняется на основании полученных моделей обработки информационных потоков. Выбор системы из нескольких аналогичных выполняется путем сравнения множества алгоритмов обработки информационных потоков предприятия и набора функций, предоставляемых системой. Рекомендуемым вариантом сравнения является таблица, в которой с помощью экспертных оценок качественных показателей определяется успешность реализации функции. Например, отсутствие выполняемой функции кодируется цифрой 0, неполное (неудобное) выполнение – цифрой 1, полное выполнение – цифрой 2. Последующее суммирование с наложением ограничений позволяет ранжировать сравниваемые системы.

Алгоритмы обработки сообщений, представленные в модели, могут помочь при оптимизации количества внедряемых систем. В этом случае множество алгоритмов обработки могут быть сведены в группы, что позволит покрыть ряд функций одной автоматизированной системой.

Таким образом, анализ пересечения множеств функций, реализованных в автоматизированных информационных системах, с множеством информационных потоков на предприятии, позволяет произвести выбор наиболее подходящих по совокупности критериев автоматизированных информационных систем.

Список литературы

1. Классификация автоматизированных информационных систем [Электронный ресурс]. – http://inftis.narod.ru/ais/ais-n3.htm (дата обращения 07.05.2017).

2. *Ясенев В.Н.* Автоматизированные информационные системы в экономике [Текст]. / В.Н. Ясенев, – Нижний Новгород, 2007

3. *Клюкин А.А., Широков А.А.* Автоматизация обработки слабоструктурированной информации.// Актуальные проблемы информатики и информационных технологий. Материалы XV международной научно-практической конференции. 9-10 сентября 2011 г. - Тамбов, 2011. С. 128-129

4. *Клюкин А.А., Широков А.А.* Автоматизация процесса подготовки документов.// Информационные системы и коммуникативные технологии в современном образовательном процессе. Сборник научных трудов - Пермь, ИПЦ «Прокростъ». 2014. с.118-121

05.13.06

Т.А. Кузнецова к.т.н., В.Г. Августинович д.т.н.

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Электротехнический факультет, кафедра Конструирование и технологии в электротехнике,
Пермь, ktei@pstu.ru

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ОТКАЗОВ ДАТЧИКОВ КАНАЛОВ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ САУ ГТД

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-4-131-133

Рассмотрены проблемы разработки систем управления современными авиационными газо-турбинными двигателями (САУ ГТД). Проанализирована возможность применения нейронных сетей для диагностики отказов. Приведен алгоритм обнаружения (коррекции) неисправности датчика канала обратной связи на основе нейронной сети.

Ключевые слова: *газотурбинный двигатель, система автоматического управления, датчик канала обратной связи, отказ, нейронная сеть.*

В настоящее время в области управления и диагностики состояния авиационных газо-турбинных двигателей (ГТД) получили развитие технологии искусственного интеллекта (ИИ), к которым относятся экспертные системы разного рода с нечеткой логикой, а также нейронные сети [1, 2]. Это обусловлено тем, что в двигателях следующего поколения все большая часть процессов управления и диагностики приходится на операции над существенно нелинейными объектами. Если в обычном ГТД управление описывается линейным оператором («больше-меньше») с постоянным или переменным коэффициентом усиления, типичным примером которого служит ПИ– или ПИД–регулятор, то при наличии разделения свойств нелинейного объекта на самостоятельные области существования необходимо применять к ним совершенно различные стратегии управления. При этом разделение областей происходит дискретно, т.е. нелинейно, а признак нахождения в данный момент времени в той или иной области должен быть сформирован исходя из физического состояния объекта.

Первоначально технологии ИИ с разной степенью успеха применялись в сфере диагностики газовоздушного тракта двигателя с целью выявления развития дефектов в ГТД. Затем по мере усложнения объекта управления (увеличения количества нелинейных, т.е дискретных элементов и случайных возмущений) эти технологии стали применяться и как основные способы управления.

Кроме диагностики состояния газовоздушного тракта и управления существует еще одна важная область применения технологии ИИ, а именно - идентификация отказов датчиков в САУ. Если применение встроенных математических моделей объекта в двухканальных САУ позволяет во многом идентифицировать одинарный отказ датчика и даже заменить его показания модельным значением, то по отношению к каналам входной информации в математическую модель это встречает значительные трудности. Так, используя математическую модель, можно определить мажоритарным способом отказ таких типичных каналов, как давление, частота вращения ротора и температура газа. В случае же отказа датчика обратной связи дозирующей иглы или механизации (например, ВНА) использование математической модели впрямую затруднительно, поскольку эти сигналы обратной связи являются входными в математическую модель. Здесь мы констатируем в случае отказа датчика обратной связи некое особое состояние системы, идентификация которого и соответствующая последующая стратегия управления требует привлечения более сложного алгоритма. Наиболее подходящим для этой цели и формализованным (а следовательно, и теоретически фундированным) алгоритмом является ИИ на базе нейронной сети.

Датчики каналов обратной связи (ОС), как и прочие элементы САУ, в процессе эксплуатации подвержены деградации вследствие старения и отказам в результате воздействия внешних неблагоприятных факторов. Кроме того, в канале измерения действует

шум, который также вносит искажения в измеренные данные.

Для выявления недостоверных измерений датчиков (независимое от времен смещение, зависящий от времени дрейф и др.) в настоящее время используются различные методы. В частности диагностирование ведется на основе введения аппаратной и алгоритмической избыточности. Наиболее распространенным способом аппаратной избыточности является резервирование. Недостатком такой методики является сложность установки, уменьшение надежности и повышение стоимости системы. Алгоритмическая избыточность, как правило, строится на фильтрах Калмана [3], применимых не для всех классов помех и возможных нелинейностей.

В настоящее время наиболее перспективным считается [4, 5] применение нейронных алгоритмов, направленные на обнаружение и количественную оценку вносимых при измерении искажений. Встроенная в САУ нейронная сеть (НС) производит диагностику неисправностей датчиков: обнаружение, идентификацию и количественную оценку вносимых искажений. Этот метод позволяет восстановить истинное значение измерения неисправного датчика. Применение системы коррекции отказов датчиков в замкнутом контуре САУ ГТД позволяет усовершенствовать уже существующие, построенные на основе ПИД- или ПИ-законах регуляторы авиационных двигателей.

Нейронная сеть обладает способностью обучаться, что позволяет использовать опыт эксперта для ее настройки. Процедура обучения состоит в идентификации неизвестных параметров нейронов w_i, b, a. В качестве обучающего алгоритма используются методы градиентного поиска минимума критериальной функции, зависящей от параметров нейронов:

$$\varepsilon = (u^* - u)^2 \quad (1)$$

Оптимизация параметров нейронов осуществляется на основе метода обратного распространения ошибки, при котором имеющиеся данные используются для корректировки весов и пороговых значений сети таким образом, чтобы минимизировать ошибку прогноза на обучающем множестве. При этом на каждой итерации находят все коэффициенты сети сначала для выходного слоя нейронов, затем предыдущего, и так до первого слоя.

Структура нейронной сети, нацеленной на обнаружение и коррекцию неисправности датчика представлена на рисунке 1.

Алгоритм работы вложенной нейронной сети для диагностики неисправностей датчиков приведен на рисунке 2.

Сеть 1 получает измерение из выборки и выполняет обнаружение (сообщает об имеющейся) неисправности датчика. В случае наличия неисправности Сеть 2 и далее Сеть 3 с помощью специальных наборов данных производит идентификацию (классификацию) неисправности.

Идентификация в Сетях 1-2 ведется по критерию:

$$min \quad \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(Xi) - (Xim)^2 \quad (2)$$

где X_i - измеренное значение, X_{im} - предсказанное (модельное) значение.

Идентификация в Сети3 ведется по критерию:

$$min \quad \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\frac{(Xi)-(Xim)^2}{X_i^2}} \quad . \quad (3)$$

Преимуществом предлагаемого решения проблемы обнаружения отказов на основе нейронной сети является повышение надежности САУ в условиях недостоверности входных данных, которые в реальных условиях полета могут быть искажены шумом или частично отсутствовать.

Во-первых, нейронная сеть может настраиваться на работу с пропущенными значениями (они заменяются на среднее значение этой переменной или на другие ее статистики). Во-вторых, проблему невалидности (зашумленности) и неполноты обучающих данных позволяет разрешить нейронная САУ ГТД с бортовой встроенной адаптивной математической моделью двигателя.

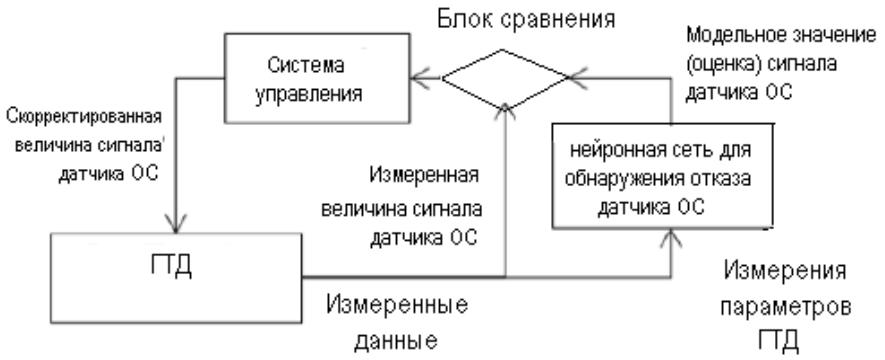


Рисунок 1 – Нейронная сеть для обнаружения и коррекции неисправности датчика ОС

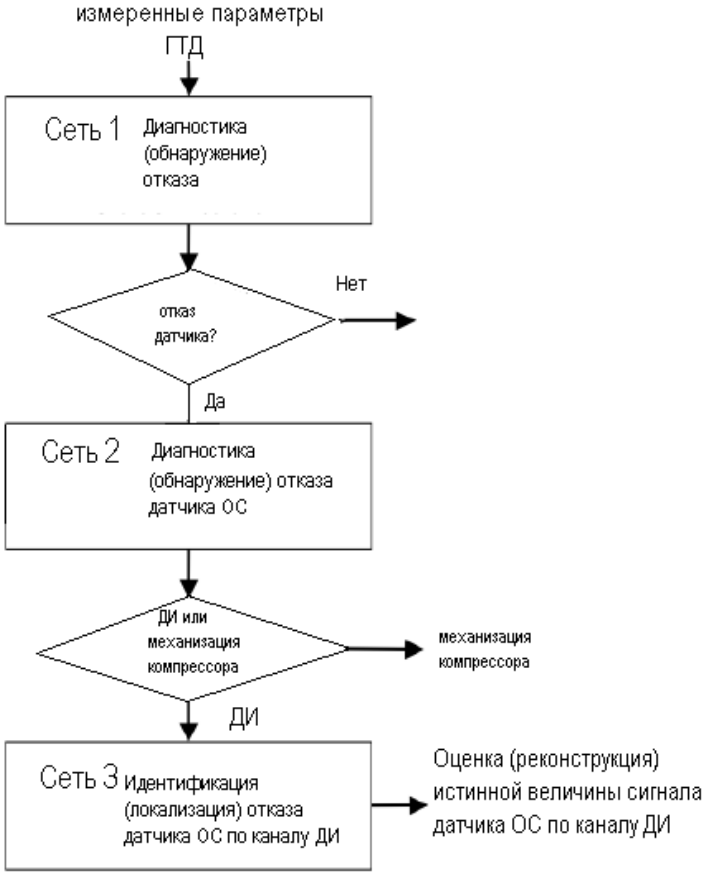


Рисунок 2 - Вложенные нейронные сети для диагностики сбоев датчиков

Список литературы

1. *Yang, C., Kong, X., Wang, X.* Model-Based Fault Diagnosis for Performance Degradations of Turbofan Gas Path Via Optimal Robust Residial/ Proc. ASME Turbo-Expo, Seoul, South Korea, GT2016-56300, 2016.

2. *Li, X., Palazzolo, A., Wang, Z.* Rotating Machinery Monitoring and Fault Diagnosis with Neural Network Enhanced Fuzzy Logic Expert System /Proc. ASME Turbo Expo Seoul, South Korea, GT2016-58102, 2016.

3. *Августинович В.Г., Кузнецова Т.А.* Алгоритмы валидации входной информации бортовой математической модели, встроенной в систему автоматического управления авиационного двигателя// Информационно-измерительные и управляющие системы, 2015. – Т. 13., № 9. – С. 19-26.

4. *Xiradakis N., Li Y. G. Gas* turbine and sensor fault diagnosis with nested artificial neural networks// Proc. of ASME Turbo Expo, Vienna, Austria, GT-2004-53570, 2004.

5. *Courdier, A., Li, Y.G. Power* Setting Sensor Fault Detection and Accomodation for Gas Turbine Engines Using Artificial Neural Networks/ Proc. ASME Turbo-Expo, Seoul, South Korea, GT2016-56304, 2016.

05.13.06

А.В. Кухарчук, А.В. Ромодин

ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», электротехнический факультет, кафедра микропроцессорных средств автоматизации, Пермь, kuharchuk@msa.pstu.ac.ru

ВХОДНЫЕ ВОЗМУЩЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЕСТЕСТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ ДЛЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ВНУТРЕННИМ ОСВЕЩЕНИЕМ В УСЛОВИЯХ Г. ПЕРМЬ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-4-134-136

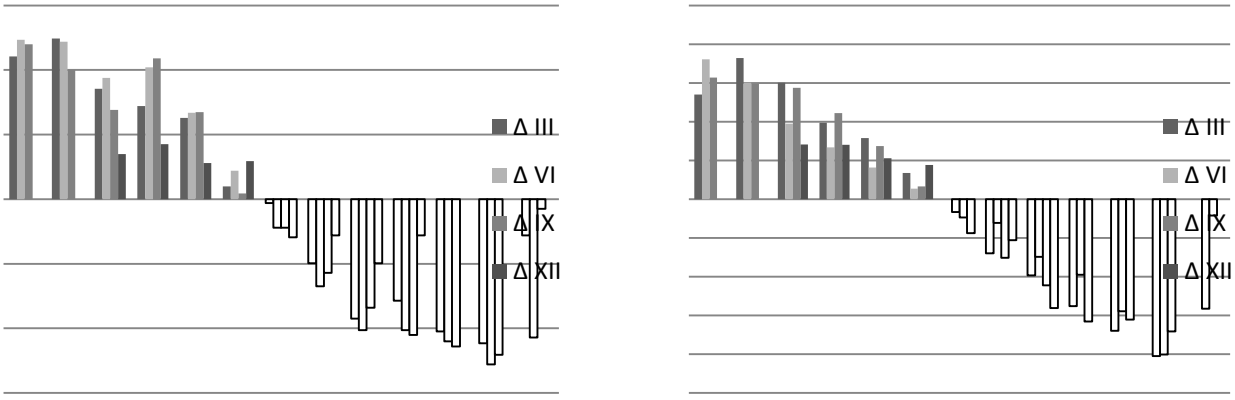
Авторами статьи на основании статистических данных строительной климатологии сформированы данные о динамике изменения количественных показателей естественной освещенности ясного и облачного неба, а так же при переходе между ними. Определены условия для организации системы автоматического управления внутренним искусственным освещением с обеспечение регулирования не воспринимаемым человеческим глазом.

Ключевые слова: *освещенность, регулирование освещенности, модель освещения, коэффициент естественной освещенности.*

Известны способы управления искусственным освещением состоящие в обеспечении необходимой освещенности или уровня освещения в желаемых местах или на рабочих поверхностях [1, 2]. Световая арматура может индивидуально управлять уровнем светового потока источников света, с возможностью достижения необходимой освещенности. Для автоматизированного управления искусственными источниками света с учётом естественного освещения требуется количественная оценка естественной освещенности, процесс изменения которой является случайным и обусловлен изменениями погодных условий. Определенный интерес представляет определение частоты управляющих воздействий, с учётом случайного характера изменения погодных условий. При измерении количественных характеристик естественной освещенности выполняются измерения дискретных значений, полученных с периодом дискретизации.

Предлагается использовать данные по наружной горизонтальной освещенности для оценки характеристик изменения освещенности при пасмурном и ясном небе [3, 4]. Данные по освещенности горизонтальной поверхности для 58 с.ш. (г. Пермь), полученные путем аппроксимации табличных значений представлены в таблицах (прямой солнечный свет для ясного неба не учитывался) . Нахождение солнца в зените для времени часового пояса в таблицах учтена смещением на 1 часа местного времени.

Приращения освещенности за час при облачном и ясном небе соответственно показаны на диаграммах рисунка 1.



Облачное небо Ясное небо

Рисунок 1 – Приращения освещенности горизонтальной поверхности при облачном и ясно небе

Анализ графиков рисунка 1 показывает, что максимальное за час приращение освещенности, при естественном движении солнца по небосводу происходит при ясном небе июля на рассвете, изменение освещенности в течение часа: 3,64 клк.

Модуль значений изменения освещенности горизонтальной поверхности при переходах от пасмурного неба к ясному и наоборот имеет для г. Перми величины представленные в таблице 1.

Таблица 1 – Модуль значения изменения освещенности горизонтальной поверхности при переходе от равнояркого ясного к равнояркому пасмурному небу

Месяц	Изменение освещенности горизонтальной поверхности $E_я$, клк												
	Время суток, ч												
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
III	0,49	1,64	2,94	3,47	3,79	4,27	4,33	3,92	3,8	2,61	1,26	0,56	0
VI	3,17	3,74	3,81	3,11	2,59	2,42	2,53	3,27	3,81	3,89	3,2	1,75	1,06
IX	1,34	2,31	3,8	3,84	3,86	4,1	4,07	3,7	3,16	2,1	1,27	0,27	0
XII	0	0	0,71	1,26	1,76	2,05	1,76	1,26	0,56	0	0	0	0

Максимальная скорость перемещения фронта облачности примем: 27,7 м/с (100 км/ч) [5]. Для определения дальности видимого горизонта на первых этажах с высоты рабочих поверхностей, примем высоту точки наблюдения равной 1,5 м. При принятых допущения дальность видимого горизонта составляет 4 км. Для перехода неба из равнояркого к пасмурному потребуется прохождение облаками расстояния в 8 км, что происходит за 288 с. Максимальное изменение освещенности при переходе от равнояркого ясного к равнояркому пасмурному небу составляет: 4,33 клк (см. данные таблицы 1).

Интенсивность изменения освещенности обусловленная естественным ходом солнца составит: 3640/60/60=1,01≈1 лк/с. Интенсивность изменения освещенности обусловленная переходом от равнояркого ясного к равнояркому пасмурному небу составляет: 4330/288=15,03≈15 лк/с.

Разрешающая способность датчиков в диапазоне измерения от 0 до 100 клк составляет в среднем 10 лк [6], предполагается установка датчика на фасаде здания. С учетом разрешающей способности формирование управляющих воздействий при построении системы управления освещенностью возможно с периодичностью 10 сек (изменение на 10 лк при интенсивности изменения освещенности при естественном ходе солнца – 1 лк/с).

Согласно закону Вебера-Фехнера принимаем, что воспринимаемая разница освещенности составляет 1-1,5% от текущей величины [7]. Для обеспечения регулирования освещенности не воспринимаемой глазом, необходимо снижать искусственную освещенность при росте

естественной освещенности и наоборот. При нормированной освещенности на рабочей поверхности 300 лк, дифференциальный порог чувствительности глаза составляет 3 лк. Изменение освещенности на рабочем месте пропорциональное изменению освещенности под открытым небом, т.е. необходима базовая величина наибольшего коэффициента естественной освещенности в помещении. Рассмотрим ряд значений естественной освещенности при боковом совмещенном освещении: 1,5; 5; 10; 15; 20 (КЕО, %).

Изменение освещенности в точке помещения с соответствующим значением коэффициента естественной освещенности при скорости изменения наружной освещенности 1 лк/с при принятой разрешающей способности датчика освещенности представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Изменение освещенности в помещении от составляющей естественного света при естественном ходе солнца

КОЕ, %	1,5	5	10	20	30	40	50
Δ*E* в точке помещения за 1 с., лк.	0,015	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
Δ*E* в точке помещения за 10 с., лк.	0,15	0,5	1	2	3	4	5
Время изменения *E* на 3 лк., с	200	60	30	15	10	7,5	6

Изменение освещенности в точке помещения с соответствующем значением коэффициента естественной освещенности при скорости изменения наружной освещенности 15 лк/с представлен в таблице 3.

Таблица 3 – Изменение освещенности в помещении от составляющей естественного света

КОЕ, %	1,5	5	10	20	30	40	50
Δ*E* в точке помещения за 1 с., лк.	0,2	0,8	1,5	3	4,5	6	7,5
Время изменения *E* на 3 лк., с	13,3	4,0	2,0	1,0	0,7	0,5	0,4

Анализ данных таблиц 2 и 3 показывает возможность построения алгоритма управления обеспечивающего регулирование с разрешающей способностью меньше дифференциального порога чувствительности зрения, в точках помещения с коэффициентом естественной освещенности менее 30%.

Список литературы

1. *Семенихин Н. И.* Энергоэкономичность автоматического управления освещением учебных зданий. // Светотехника. – 1987. – № 2. – с. 23-25.
2. *Соловьёв А.К.* Автоматическое регулирование дополнительного искусственного освещения и его эффективность. // Светотехника, – 1999. – №3. – с. 2-4.
3. *Кухарчук А.В., Ромодин А.В., Лейзгольд К.А.* К вопросу расчета экономической эффективности внедрения систем регулирования искусственной освещенности // Фундаментальные исследования. – 2015.– № 8-1. – с. 114-119
4. *Кухарчук А.В., Ромодин А.В.* К вопросу использования естественного света в системах внутреннего освещения. // В мире научных открытий.– 2015. – № 10.2 (70). – с. 794-801.
5. *Акимов В.А., Дурнев Р.А., Соколов Ю.И.* Опасные гидрометеорологические явления на территории России: Монография – М: Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России, 2009, – с. 316
6. *Сысоева С.* Датчики окружающего света от компании Rohm Semiconductor - готовое решение для оптимальных систем // Компоненты и технологии, – 2010. – № 8 (109). – с. 138-144.
7. *Глезер В.Д.* Значение закона Вебера-Фехнера. Сообщение IV. Психометрическая функция, внутриполушарное и межполушарное взаимодействие // Физиология человека. – 2011. – № 37 (1). – с. 65-74.

05.13.06

Д.Ю. Лейзгольд, А.В. Папулов, А.В. Ромодин

Пермский Национальный Исследовательский Политехнический Университет,
электротехнический факультет, кафедра микропроцессорных средств автоматизации,
Пермь, dmleyz@mail.ru, papulovanton@mail.ru, romodin@mail.ru

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ГЕНЕРИРУЮЩИХ МОЩНОСТЕЙ В СЕТЯХ С ДВУХСТОРОННИМ ПИТАНИЕМ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ ПОИСКА КРАТЧАЙШЕГО ПУТИ ВО ВЗВЕШЕННОМ ГРАФЕ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-4-137-139

В работе рассматривается проблема оптимального распределения генерирующих мощностей в сетях с двухсторонним питанием. В качестве математического аппарата предлагается использовать метод поиска кратчайшего пути во взвешенном графе. Разработан алгоритм оптимизации нагрузки в сети и произведена апробация данного алгоритма.

Ключевые слова: *оптимизация электросетей, графы, распределение мощностей.*

Проблема оптимизации загрузки в электрических сетях является особенно актуальной при развитии распределительной сети электроснабжения и децентрализации выработки электрической энергии. Существующие наработки в области оптимизации потоков мощности достаточно точные и позволяют весомо снизить потери [1], однако часто сложны в реализации. Оптимизационную задачу с целевой функцией минимума потерь активной мощности предлагается решить с помощью метода нахождения кратчайшего пути во взвешенном графе, так как он не требует большого количества данных, прост в реализации и обладает большей наглядностью.

При анализе известных алгоритмов нахождения кратчайшего пути в графе было решено выбрать для изучения метода поиска наименьшего сопротивления в линии алгоритм Флойда-Уоршелла [2], как наиболее простой и обладающий высокой скоростью выполнения алгоритма и минимизации ошибок кода программы.

Для решения задачи поиска наименьшего сопротивления в качестве графа будет рассматриваться вся система электрической сети. Вершинами в данном случае будут узлы потребляющие, либо генерирующие мощность, а ребрами графа – ветви. Результатом вычислений будет матрица наименьших сопротивлений между узлами ($R[i,j]$). Также есть возможность добавить матрицу истории ($HS[i,j]$), которая позволяет проследить по вершинам весь путь наименьшего сопротивления.

Был разработан алгоритм определения оптимальной мощности генераторов, блок-схема которого представлена на рисунке 1. Исходными данными для решения задачи являются: сопротивления ветвей, мощности генераторов и потребителей, допустимая загрузка линий. Первоначально определяется матрица минимального сопротивления между узлами сети. После нахождения наименьших сопротивлений производится процедура распределения мощности потребителей между источниками.

Для данной методики примем следующие допущения: напряжения во всех узлах сети одинаковы; реактивное сопротивление линий не учитывается; сопротивление шин незначительно.

В общем случае потери мощности в линии можно описать формулой:

$$\Delta P = \frac{P^2}{U^2} \cdot R_{Л}, \quad (1)$$

где $R_{Л}$ – сопротивление линии.

С учетом принятых допущений из формулы (1) следует, что потери энергии нелинейно зависят от мощности, поэтому в качестве альтернативного варианта определения матрицы весов предлагается использовать величину *PR*, позволяющую также описать в модели допустимую загрузку.

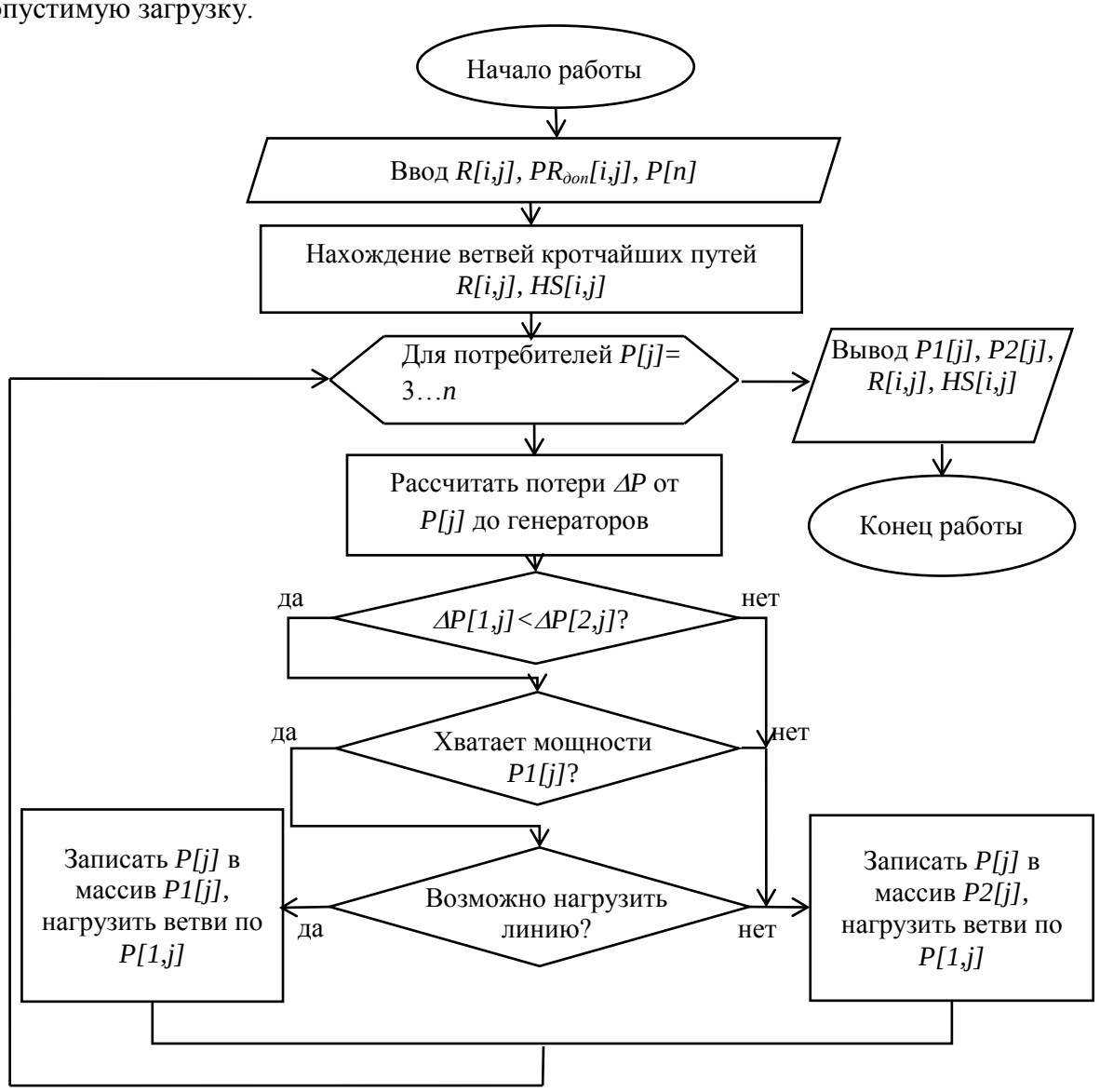


Рис. 1 – Блок-схема алгоритма оптимизации загрузки сети

Определение загрузки генераторов заключается в сравнении сопротивлений линии от потребителя до источников, а также сравнении потерь мощностей в проводах. Итогом расчетов является предложение по оптимальной загрузке генераторов. Апробация предлагаемой методики выполнена на примере СЭС, схема которой изображена на рисунке 2.

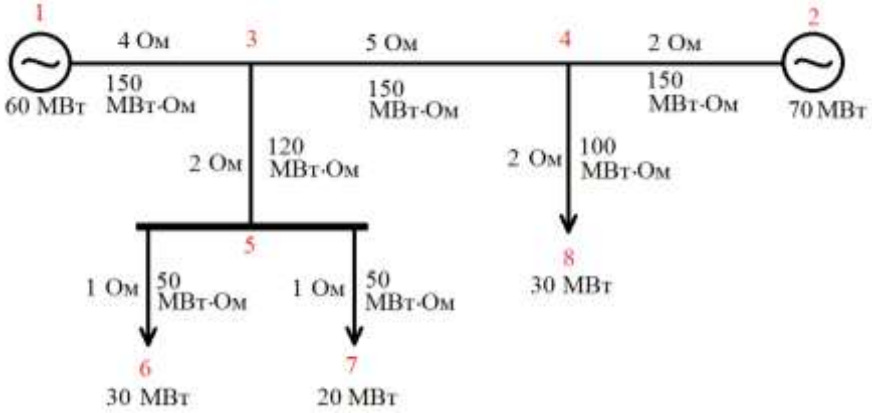


Рис. 2 – Расчетная схема электроснабжения

Для сравнения эффективности предложенных решений расчет проводился с учетом использования двух вариантов весов ветвей.

1) **Расчет с учетом матрицы наименьших сопротивлений *R[i, j].*** В результате расчета наименьших сопротивлений между узлами была получена матрица сопротивлений:

$$R[i,\ j] = \begin{pmatrix} 0 & 11 & 4 & 9 & 6 & 7 & 7 & 11 \\ 11 & 0 & 7 & 2 & 9 & 10 & 10 & 4 \\ 4 & 7 & 0 & 5 & 2 & 3 & 3 & 7 \\ 9 & 2 & 5 & 0 & 7 & 8 & 8 & 2 \\ 6 & 9 & 2 & 7 & 0 & 1 & 1 & 9 \\ 7 & 10 & 3 & 8 & 1 & 0 & 2 & 10 \\ 7 & 10 & 3 & 8 & 1 & 2 & 0 & 10 \\ 11 & 4 & 7 & 2 & 9 & 10 & 10 & 0 \end{pmatrix}$$

Также выведем матрицу истории для источников питания:

$$HS[i,\ j] = \begin{pmatrix} 0 & 4 & 3 & 3 & 3 & 5 & 5 & 4 \\ 4 & 0 & 4 & 4 & 4 & 5 & 5 & 4 \end{pmatrix}$$

Распределение генерируемых мощностей по критерию минимального сопротивления следующее: $P1$= 50 МВт, $P2$= 30 МВт.

2) **Расчет с учетом матрицы потерь *PR[i,j].*** Расчет аналогичен расчету с учетом матрицы наименьших сопротивлений, однако дополнительно проверяем загрузку линий. Полученное значение отличается от предыдущего критерия и составляет: $P1$= 30 МВт, $P2$= 50 МВт.

Исходя из формулы (1) и учитывая принятые допущения, что напряжение во всех точках одинаково, потери мощности для сравнения заменим эквивалентом потерь мощности ($P^2 \cdot R$). Так как потери в ветвях 3-6, 3-7, 4-8 не изменятся, их расчеты не производятся.

В таблице 1 представлено сравнение эквивалента потерь мощности при расчетах с учетом потерь и расчетах без учета потерь.

Таблица 1 –Значение эквивалента потерь $P^2R[i,\ j]$ для разных вариантов расчета

Ветвь[i, j]	При использовании веса $R[i,\ j]$, МВт$^2\cdot$Ом	При использовании веса $P^2R[i,\ j]$,МВт$^2\cdot$Ом
1-3	10000	3600
3-4	0	2000
4-2	1800	5000
1-2	11800	10600
Всего:	23600	21200

Исходя из результатов, приведенных в таблице 1, можно сделать вывод, что расчеты с учетом матрицы потерь в данной задаче сокращают потери мощности в сети на 11,3 %.

Заключение. Поиск пути наименьшего сопротивления может быть эффективно применен для оптимизации загрузки электрической сети. Однако, при использовании в рамках программных комплексов по оптимизации и моделированию [3], требуется дальнейшая доработка методики в области уточнения напряжений в узлах, а также дискретизации нагрузок.

Список литературы

1. *Лейзгольд Д.Ю., Чудинов А.В.* Оптимизация распределения потоков активной мощности в системе электроснабжения предприятий с учетом величины нагрева проводников // Проблемы региональной энергетики. –2015.– № 1 (27).– С. 35-42.

2. *Левитин А. В.* Преодоление ограничений: Метод деления пополам // Алгоритмы. Введение в разработку и анализ – М.: Вильямс, 2006. – С. 349-353. – 576 с.

3. *Петроченков А.Б., Ромодин А.В.*Комплекс «Энергооптимизатор» // Электротехника.– 2010.– № 6.– С. 49-54.

05.13.00

А.Н. Лыков, А.А. Шергина

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
электротехнический факультет,
кафедра микропроцессорных средств автоматизации,
Пермь, aska.sher@yandex.ru

РАЗРАБОТКА АЛЬТЕРНАТИВНОЙ АРХИТЕКТУРЫ SCADA-СИСТЕМЫ ДЛЯ НЕБОЛЬШИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-4-140-142

Настоящая статья посвящена разработке альтернативной архитектуры SCADA-системы для небольших предприятий. Рассмотрены различные подсистемы, поколения, варианты построения SCADA-систем. В результате выбран оптимальный набор функций для SCADA-системы небольшого предприятия.

Ключевые слова: *SCADA-система, архитектура, компонент.*

Современное производство никак не может обойтись без автоматизации. Системы автоматического управления технологическими процессами (АСУТП) увеличивают эффективность работы, гарантируют защищенность производства, повышают выход продукта, уменьшают процент брака, экономят средства и дают возможность на 10–15 лет продлить период работы технологического оборудования. Но главное – АСУТП обеспечивают качество выпускаемой продукции, а ведь именно оно устанавливает, в какой степени конкурентоспособным станет продукт на рынке. В качестве систем, получивших максимальное распространение при разработке АСУ ТП предприятия, выступают SCADA-системы. Они считаются необходимой составляющей нынешних автоматизированных систем управления процессами либо как её ещё называют средой визуализации. Система SCADA реализует все без исключения ключевые функции визуализации измеряемой и контролируемой информации, а также передачи сведений и команд системе контроля и управления[1].

В наше время SCADA системы считаются необходимой составляющей современных систем автоматизированного управления процессами либо, как их ещё называют, средой визуализации. В начале 20-го века SCADA системы приобрели широкое распространение и на сегодняшний день уже сложно себе вообразить объект автоматизации, в который бы не была установлена SCADA система. Крупные шкафы с панелями вторичных устройств уже почти отошли в историю, а на смену им пришли автоматизированные рабочие места (АРМ).

Основная цель SCADA – это получение данных о большом количестве удаленных объектов, поступающей с пунктов контроля, и отражение данной информации в общем операторском центре. Помимо этого, SCADA обязана гарантировать долговременное архивирование полученных сведений[2].

Современные SCADA - системы представляют собой непростой аппаратно-программный комплекс. Любой элемент системы решает свой определенный круг вопросов. SCADA-система может быть сделана в виде единой либо модульной системы.

К монолитным системам возможно отнести ранние версии, какие работали на базе огромных суперкомпьютеров в отсутствии использования каких-либо сетей и элементов обмена с другими системами. Помимо этого, они никак не применяли и какие-либо коммуникационные протоколы, а сигналы с полевого уровня обрабатывались исключительно с помощью интегрированных модулей. Надежность первого поколения SCADA систем обеспечивалась за счет резервирования базовой станции, к которой были подсоединены удаленные терминалы пользователей.

Системы с модульной структурой состоят из комплекта модулей, предназначенных для разных целей: мониторы реального времени, сетевая поддержка, инструментальная система, коммерческий учет и т. д. (Модульная интегрированная SCADA система «КРУГ-2000» отечественного изготовления, Соната - SCADA/HMI, OpenSCADA и тд).

Условно в зависимости от подхода SCADA можно разделить на следующие поколения:

1. SCADA первого поколения – это монолитные системы, разработанные до повсеместного распространения Интернет. Сейчас такие системы уже не используются.

2. Второе поколение - распределенные системы в которых информация и команды обработки данных были распределены среди несколькими станциями, которые объединялись в одну сеть. Данными они обменивались в режиме настоящего времени. Любая станция отвечала за свою задачу, которая и определяла её размер. Стоимость каждой станции в итоге была меньше, чем стоимость базовой станции систем 1-ый поколения.

3. Третье поколение - сетевые системы (Networked) схожие по свойствам с распределенными системам 2-го поколения. Каждая сложная SCADA система при этом имела возможность быть упрощенной, путем упрощения частей и объединения их посредством коммуникационных протоколов.

4. 4-ое поколение распределенная объектная модель или так именуемый интернет вещей (InternetofThings). С этапа возникновения облачных технологий, какие предоставили возможность перенести вычисляемые мощности в облако, в таком случае имеется в абстрактный распределенный верхний уровень в отсутствии четко конкретизированного места вычислений, SCADA системы основательно минимизировали свою стоимость и упростили процедура интеграции и обслуживания. [3].

Современному бизнесу, производящему небольшие технологические установки, чтобы быть конкурентным необходимо не только предложить востребованный продукт, но и дополнить его информационными системами и сервисами. Система сбора, обработки и отображения оперативной и архивной информации для установки нефтепереработки несомненно будет конкурентным преимуществом. Использование готовых решений в виде SCADA-систем может решить эту задачу, но значительно увеличит стоимость установки. Что в конечном итоге скажется на цене установки и её востребованности на рынке.

Другим вариантом будет создание собственной SCADA системы с учетом ограниченного бюджета и требований собственников. У такого подхода есть несколько плюсов:

- исключительные права на систему;
- возможность создать открытую систему с передачей заказчику принципов работы, для доработки либо замены системы;
- реализация только необходимых компонентов системы.

Так для установки переработки нефти, в силу специфики протекающих процессов были предъявлены следующие упрощения:

- отказаться от системы, работающей в реальном времени;
- отказаться от базы данных реального времени;
- системы логического управления;
- внешние интерфейсы обмена данными;
- редакторы для создания программ и мнемо-схем.

И предъявлялись следующие требования:

- Мнемо-схема должна корректно отображается на экранах современных устройств, в том числе мобильных;
- Сервер ввода-вывода работает с устройствами, объединенными по стандарту Modbus RTU;
- Ведение архива, с автоматическим резервным копированием;
- Возможность построения простейших отчётов с автоматизированного рабочего места и доступ к серверу архива для построения произвольных отчётов;
- Система тревоги и предупреждений для отображения на экране оператора;
- Максимальное использование смежных технологий, применяемых в веб индустрии.

Указанные требования и допущения к системе, позволяют спроектировать архитектуру, включающую в себя сервер ввода вывода, кластер хранения и резервирования информации, веб сервер для построения мнемосхемы, браузер либо приложение со встроенным компонентом для отображения веб содержимого (тонкий клиент).

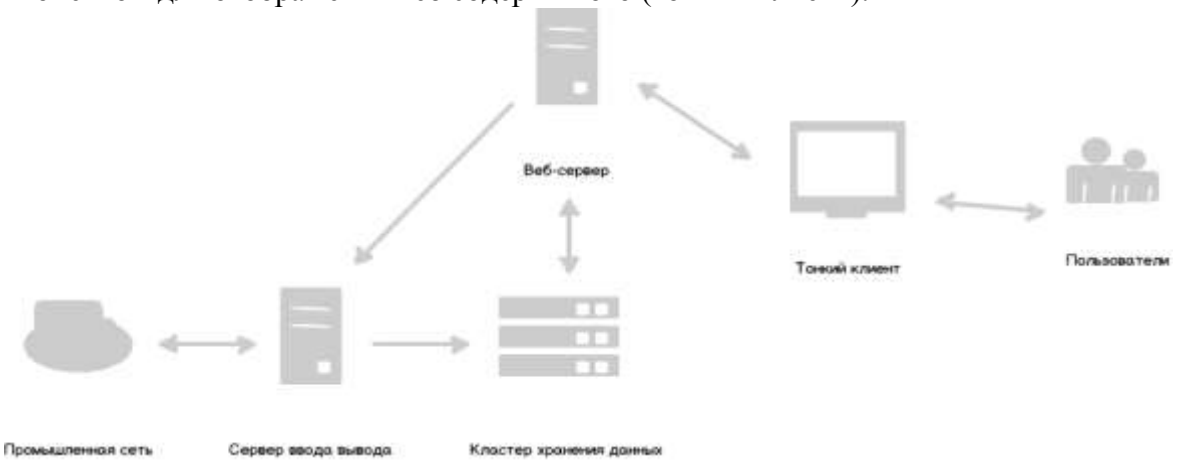


Рис. 1- Архитектура упрощенной SCADA - системы

На рисунке 1 изображена архитектура упрощенной SCADA - системы и потоки движения данных. Данные полученные в промышленной сети собираются по протоколу Modbus RTU обрабатываются и сохраняются сервером ввода вывода в БД. База данных расположена в распределенном кластере серверов, что обеспечит надежное хранение и резервирование данных (MySQL, PolgrasteSQL, MariaDB и пр.). Используя данные из базы данных, веб сервер (Apache, Ngnix) на основе шаблонов формирует данные для отображения в тонком клиенте. Реакция пользователя, запрос данных, управляющее воздействие и другое взаимодействие обрабатывается веб сервером сохраняется в журнал БД и отправляется на сервер ввода вывода, после которого управляющее воздействие передаются в промышленную сеть.

В некоторых случаях разработка SCADA-системы может быть выполнена небольшой группой разработчиков в разумные сроки. Использование смежных технологий значительно расширяет возможности по разработке необходимых модулей и систем. Предложенная архитектура SCADA системы позволит реализовать все необходимые функции. Применение такого подхода зависит от специфики производственного процесса и целей, преследуемых руководством.

Список литературы

1. *Касьянова Е.Н.* Scada-система как инструмент проектирования АСУ ТП // Научное сообщество студентов: Междисциплинарные исследования: сб. ст. по мат. II междунар. студ. науч.-практ. конф. № 3. URL: sibac.info/sites/default/files/conf/file/stud_3_2.pdf (дата обращения: 09.05.2017)

2. Новая лаборатория автоматизации [Электронный ресурс]. — http://automationlab.ru/index.php/ispy/206-17 (дата обращения: 07.05.17).

3. Поколения SCADA систем [Электронный ресурс]. — http://processautomation.ru/index.php?sel=stat&id=56 (дата обращения: 07.05.17).

4. Технические средства автоматизации. Программно-технические комплексы и контроллеры : учебное пособие / И. А. Елизаров, Ю. Ф. Мартемьянов, А. Г. Схиртладзе, С. В. Фролов. – М. : Изд-во Машиностроение, 2004. – 180 с.

5. Интегрированные системы проектирования и управления: SCADA-системы : учебное пособие / И. А. Елизаров, А. А. Третьяков, А. Н. Пчелинцев и др. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2015. – 160 с. – 400 экз. – ISBN 978-5-8265-1469-6.

6. *Пьявченко, Т. А.* Проектирование АСУТП в SCADA-системе : учебное пособие / Т. А. Пьявченко. – Таганрог : ТТИ ЮФУ, 2007. – 84 с.

7. *Андреев, Е. Б.* SCADA-системы: взгляд изнутри / Е. Б. Андреев, Н. А. Куцевич, О. В. Синенко. – М. :РТСофт, 2004. – 176 с.

05.13.06

М.И. Мелюхина, А.А. Широков

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
электротехнический факультет, кафедра микропроцессорных средств автоматизации,
Пермь, melyuhina.mariya@gmail.com, shirokov@pstu.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОТОКОВ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-4-143-145

Задачи повышения энергоэффективности имеют государственное значение. Вместе с тем, информационное взаимодействие участников рынка производства и потребления электроэнергии не в полной мере ориентировано на оптимизацию этих процессов. В частности, объективная информация, формируемая автоматизированными системами коммерческого учета электроэнергии используется в большинстве случаев только для начисления платежей потребителям. В статье рассматриваются вопросы использования информации, формируемой на уровне потребления электроэнергии потребителями, приводятся рекомендации по получению и анализу необходимой информации от структур рынка передачи и потребления электроэнергии с целью оптимизации ее расходования и, соответственно, экономической привлекательности внедрения современных технологий.

Ключевые слова: *энергоэффективность, энергопотребление, диспетчерский пульт, анализ данных, автоматизированные системы коммерческого учета электроэнергии.*

Решение задач повышения энергоэффективности должно производиться на всех этапах от производства электроэнергии до ее потребления. На государственном уровне основное внимание уделяется экономии топлива при выработке энергоресурсов. При условии, что коэффициент полезного действия энергогенерирующего оборудования по разным источникам составляет от 25 до 40 процентов, капитальные вложения на модернизацию оборудования должны дать существенный эффект [1]. В то же время необходимо повышать энергоэффективность и в процессе передачи и потребления электроэнергии.

В данной статье рассматриваются вопросы использования информации, функционирующей в структурах, обеспечивающих передачу и потребление электроэнергии с позиции оптимизации ее потребления.

В обобщенном виде процесс генерации, распределения и потребления электрической энергии включает в себя организации, выполняющие делегируемые им функции. Обобщенная схема взаимодействия данных организаций представлена на рисунке 1 [2].

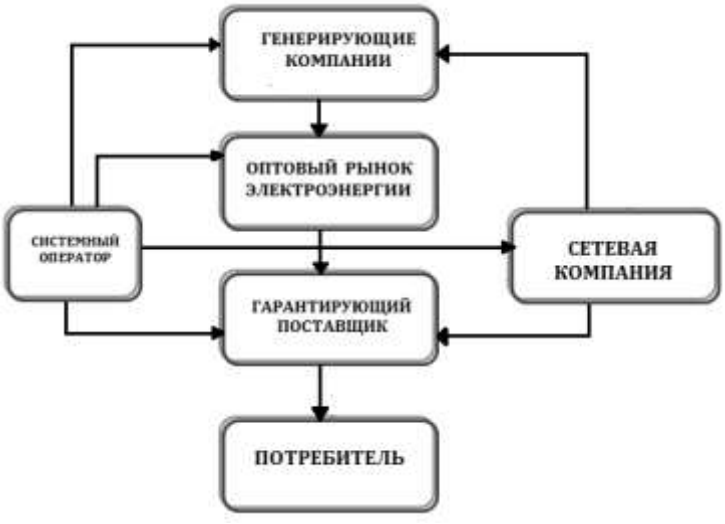


Рисунок 1 – Розничный рынок электроэнергии

Особенностью энергетического рынка является то, что в любой момент времени потребители электроэнергии могут получить только то количество энергии, которое произведено генерирующими компаниями и, наоборот, лишняя энергия не может быть сохранена «про запас». Таким образом, снижение рисков по данным случаям возможно только при оптимизации генерации и потребления на основе объективной информации. Это позволит контролировать объемы выработанной и потребленной энергии, а также решать задачи прогнозирования объемов потребления и, соответственно, ее выработки. Наличие объективной информации позволяет решать и задачи минимизации потерь как от некачественной передачи энергии (потери в сетях), так и от банального воровства. Таким образом, информационные потоки, формируемые у участников «энергетического» процесса могут быть полезны для всех структур.

Вполне логично изначально опираться на объективную информацию о потреблении электроэнергии, получаемую автоматизированными системами коммерческого учета электроэнергии (АСКУЭ), структура, оборудование и программное обеспечение которых на сегодняшний день детально разработаны. Тем не менее, внедрение таких систем нельзя назвать массовым. Причин этому немало, но, по мнению авторов, основная причина слабого использования этой информации заключается в том, что участники процесса не заинтересованы в полной мере в анализе данной информации. Основное использование такой информации (по крайней мере в сфере жилищно-коммунального хозяйства) – это формирование квитанций об оплате потребленной электроэнергии. В большинстве случаев проблема контроля потребления решается периодическим поквартирным обходом работниками энергосбыта.

В то же время, коммерческий учёт электрической энергии (мощности) – это процесс измерения количества электрической энергии и определения объема мощности, сбора, хранения, обработки, передачи результатов этих измерений и формирования, в том числе расчетным путем, данных о количестве произведенной и потребленной электрической энергии (мощности) для целей взаиморасчетов за поставленные электрическую энергию и мощность, а также за связанные с указанными поставками услуги [3].

АСКУЭ, как правило, ориентировано на решение следующих задач:

- автоматический сбор текущих значений передачи и потребления энергоресурсов в различных точках и регистрация их с привязкой к моментам времени. Частота съема значений может варьироваться в широких пределах и зависит от характера решаемых задач;
- контроль превышений установленных норм потребления электроэнергии и сигнализация об их превышении;
- текущие расчеты суммарного потребления энергоресурсов по отдельным потребителям, группам потребителей и системе в целом, расчеты балансов получаемой и отпускаемой энергии;
- подготовка и вывод отчетов о расходовании энергоресурсов за заданный интервал времени: за сутки, неделю, месяц и т.п.
- подбор и визуализация сравнительных данных для анализа изменения ситуации после проведения мероприятий по энергосбережению [4].

Исходя из перечисленных функций и возможностей АСКУЭ объективная информация, полученная с ее помощью, может быть использована целым рядом взаимодействующих структур.

В первую очередь, информация из АСКУЭ используется гарантирующими поставщиками (энергосбытовыми компаниями). Полученные данные по отдельным потребителям, группам потребителей в любом временном разрезе позволяет своевременно начислить суммы за потребленную энергию. Кроме этого, при наличии промежуточных точек контроля потребленной энергии, имеется возможность контролировать общедомовые расходы и выявлять случаи воровства.

Информация АСКУЭ может использоваться сетевыми компаниями для оценки потерь при передаче электроэнергии. Кроме этого, не стоит забывать и о вопросах качества

электроэнергии [5]. Современные интеллектуальные счетчики частично выполняют функции сбора и этой информации.

Безусловно, каждая из структур, участвующих в энергетическом процессе, формирует и использует и свою информацию. Например, на уровне гарантирующего поставщика генерируется и используется информация о потребителях электроэнергии. Сетевые компании давно и с успехом используют системы телемеханики.

Главный положительный эффект от использования информации, формируемой всеми участниками процесса - это повышение энергоэффективности как на государственном уровне, так и на уровне всех участников процесса генерации, распределения и потребления электрической энергии.

Все участники процесса должны быть вовлечены в работу в объединенной информационной системе, которая будет выполнять такие функции как:

- объединение данных по производству и потреблению энергоресурсов из разнородных и территориально распределенных источников информации;
- своевременное обеспечение необходимой информацией руководителей и специалистов всех уровней;
- создание прозрачной системы учета энергоресурсов, расчета балансов по производственным объектам и видам энергоресурсов;
- определение фактических норм потребления энергоресурсов, анализ полученной информации и, на основании этих данных, повышение точности планирования потребления энергоресурсов.

Авторы не претендуют на полноту исследования данной проблемы. Тем не менее, с чего-то надо начинать. В условиях слабой заинтересованности ресурсогенерирующих компаний «раскрывать карты» и показывать свои потери, перенося бремя оплаты на конечных потребителей использование объективной, не зависящей от человеческого фактора информации становится задачей еще более актуальной.

Список литературы

1. *Широков А.А., Мелюхина М.И.* Энергосбережение электрической энергии на этапе ее потребления.// Фундаментальные исследования. – 2016. – № 11-3. – С. 563-567.
2. Федеральная розничная энергосбытовая компания [Электронный ресурс]. URL: https://en-mart.com/o-roznichnom-rynke-elektroenergii// (доступ 01.02.2017).
3. Глоссарий по коммерческому учету электроэнергии [Электронный ресурс]. URL:http://www.buro-esp.ru/glos.html/ (доступ 01.02.2017).
4. Энергосбережение и энергоучет в электрических сетях [Электронный ресурс]. URL:http: //www.industrialauto.ru/ modules/myarticles/article.php?storyid=4html (доступ 01.02.2017).
5. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения ГОСТ 32144-2013 принят N-55 П от 25 марта 2013 г.

05.13.06

В.А. Меньшенин, А.Н. Лыков

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
электротехнический факультет, кафедра микропроцессорных средств автоматизации,
Пермь, lykov45@yandex.ru

ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМЫ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-4-146-148

Рассмотрены аспекты построения систем кондиционирования воздуха, обеспечивающих автоматическое поддержание в помещениях всех или отдельных его параметров (температуры, относительной влажности) на определенном уровне для создания оптимальных климатических условий. Приведен анализ вариантов построения системы кондиционирования. Предложена уровневая структура системы.

Ключевые слова: *контроллер, исполнительные механизмы, система управления, датчики, система кондиционирования*.

Введение. Система кондиционирования воздуха – это законченная система, предназначенная для кондиционирования (охлаждения) воздуха. Несмотря на то, что принцип работы любых кондиционеров в общем и целом одинаков, в различных конструкциях систем кондиционирования воздуха этот принцип воплощен совершенно по-разному.

Основные конструктивные различия в устройстве как бытовых, так и промышленных систем кондиционирования определяются количеством блоков, из которых состоит система кондиционирования - выделяют моноблочные системы кондиционирования воздуха (оконные и мобильные кондиционеры), а также сплит-системы [1-3].

Анализ систем кондиционирования. В системах кондиционирования воздуха моноблочного исполнения все технологические элементы размещены в одном корпусе. Поскольку вентиляторы, испарители, конденсаторы и компрессоры как правило имеют довольно большие габаритные размеры и высокий уровень шума, то моноблочные системы кондиционирования (мобильные кондиционеры и оконные) также являются достаточно шумными (до 55 ДБ) и громоздкими.

В оконных кондиционерах оба теплообменника (конденсатор и испаритель) и компрессор размещены в одном компактном блоке. Холодильный контур герметичен. Устанавливается, как правило, в окно, либо любой проём, более или менее подходящий по размерам.

Монтаж установок при наличии элементарных навыков и минимума инструментов, достаточно прост. Однако если по критерию цены оконный кондиционер является достаточно хорошим решением, то с технической и других точек зрения такая система кондиционирования имеет ряд недостатков (высокий уровень шума, внешний вид, сложности монтажа, уменьшение освещенности от оконных проемов).

Мобильный (напольный) кондиционер состоит из одного блока. Теплый воздух от конденсатора выводится из помещения в специально приготовленное отверстие или форточку (дверь) на улицу, обычно с помощью гофрированного воздуховода диаметром до 200 мм. Уровень шума повышен (компрессор находится тут же – в блоке), производительность невысока, поскольку, как правило, отсутствует теплоизоляция воздуховодов. Иногда (при мощности свыше 3-4 кВт) в мобильных кондиционерах используется стационарный выносной конденсатор. В этом случае мобильный кондиционер, строго говоря, перестает быть моноблоком, однако остается мобильным, так как вместо жесткой медной трассы соединен с конденсатором гибкими соединительными шлангами с защелками. Стоимость мобильного кондиционера значительно выше оконного.

Альтернативой такой системе кондиционирования являются сплит-системы. Сплит-системами называется любой кондиционер, состоящий из двух блоков – внутреннего и внешнего (от английского слова «*split*», «раздельный»). Внутренний блок расположен в помещении, внешний (наружный) вынесен на улицу (очень редко – в другое помещение). Компрессор находится во внешнем блоке, поэтому, по сравнению с моноблоками, уровень шума значительно ниже. Блоки соединены между собой электрическим кабелем управления (и электропитания) и медными трубами, по которым циркулирует фреон.

Принцип охлаждения (кондиционирования) основан на испарении фреона в теплообменнике внутреннего блока кондиционера (испарителе) – при этом и происходит охлаждение – и конденсации фреона в теплообменнике наружного (внешнего) блока – конденсаторе.

Системы, в которых число внутренних блоков равно двум и более называют мульти сплит-системами.

По типу внутреннего блока сплит-системы бывают: настенные, кассетные, канальные, универсальные (напольно-потолочные, настенно-потолочные, потолочные, угловые кондиционеры), колонные.

Реализация систем кондиционирования. Приведенный выше анализ позволяет сформировать рекомендации по построению систем кондиционирования на бытовых и промышленных объектах [4].

В качестве примера практического использования систем разработана система кондиционирования воздуха для технологического процесса производства твердых лекарственных форм. Структурная схема системы представлена на рисунке 1.

Рассмотрим принцип работы системы.

1. Адсорбционный осушитель работает по принципу адсорбции (впитывания) влаги из воздуха специальными гигроскопическими материалами. Адсорбционные осушители работают не с одним, а сразу с двумя потоками воздуха разного объема. Ротор осушителя по секторам подвергается воздействию двух потоков воздуха, направленных друг против друга.

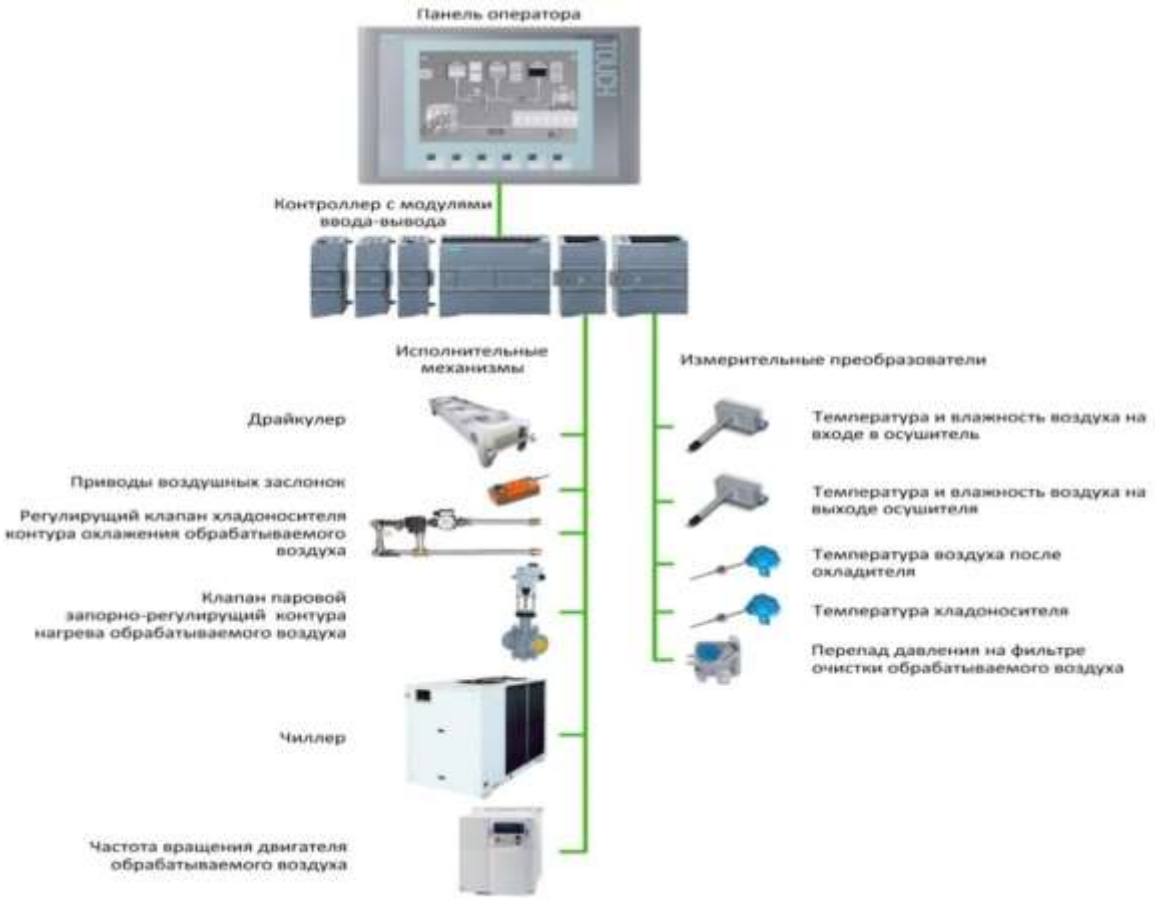


Рис. 1 – Уровневая структура системы кондиционирования воздуха

Рабочий воздух (тот, чью влажность нужно понизить), проходит через самый большой сектор, где из него адсорбируется влага. Сам воздух выходит из ротора сухим и направляется туда, где требуется осушенный воздух. Воздух регенерации (поток меньшего объема) используется для удаления влаги из ротора (регенерации матрицы ротора). Он нагревается до 120 °С за счет парового калорифера и проходит через малый сектор, удаляя влагу.

Из ротора выходит влажный теплый воздух, который выводится за пределы осушаемого контура. Поскольку ротор вращается медленно, то поступающий воздух всегда встречает активную часть ротора и, таким образом, обеспечивается непрерывный процесс осушения.

2. Управление установкой осуществляется за счет автоматической системы, построенной на базе контроллера. При запуске установки включаются циркуляционные насосы, и обеспечивается давление хладагента (тосола) в контуре: чиллер-узел обвязки теплообменника. При достижении хладагентом заданных параметров -5 +5 ^{0}С трехходовой клапан переключается из положения байпаса и хладагент начинает циркуляцию через теплообменник. Затем включается адсорбционный осушитель и начинает работу узел редуцирования пара. Воздух начинает забираться из помещения, проходить через осушитель, охладитель и снова подаваться в помещение. Система управления регулирует параметры температуры и влажности подаваемого воздуха путем изменения положения 3-х ходового клапана на узле обвязки теплообменника и регулировки клапана подачи пара в калорифер.

Предложенная система предназначена для контроля, сбора данных и управления системой кондиционирования воздуха. Система позволяет в режиме реального времени отслеживать контролируемые параметры, состояние оборудования, поддерживать заданные значения параметров системы и выводить данные на панель оператора. Силовая часть системы предназначена для распределения электроэнергии, управления и защиты цепей питания силового оборудования.

Система обеспечивает: автоматическое поддержание температуры и влажности воздуха; автоматическое поддержание температуры контура хладоносителя; управление циркуляционными насосами системы холодоснабжения (ротация, аварийное переключение, отключение); управление частотой вращения основного вентилятора вентустановки; сигнализацию состояния воздушного фильтра; управление приводами воздушных клапанов; предупредительную и аварийную сигнализацию.

Система представляет собой централизованную систему управления:

1) Нижний уровень включает исполнительное и контрольно-измерительное оборудование.

2) Средний уровень разработан на базе контроллера *Siemens Simatic S*7-1200, расположен в шкафу управления. В состав шкафа входит контроллер с модулями ввода-вывода, защитно-коммутационное оборудование. Управление системой осуществляется через 4” панель оператора *Siemens*.

Вся информация о рабочих параметрах системы, выводится на панели оператора в виде мнемосхем и таблиц, на которых показано технологическое оборудование и отображается его текущее состояние.

Список литературы

1. Системы кондиционирования и их виды [Электронный ресурс]. – *URL*: http://www.termostandart.ru/cond-types.html (дата обращения: 25.06.2017).

2. Классификация систем кондиционирования [Электронный ресурс]. – *URL*: https://www.mir-klimata.info/archive/special_customer/klassifikacija_sistem_1/ (дата обращения: 25.06.2017).

3. Системы кондиционирования воздуха [Электронный ресурс]. – *URL*: http://www.holodilshchik.ru/index_holodilshchik_issue_1_2005_Conditioning.htm (дата обращения: 25.06.2017).

4. Системы кондиционирования для технологических процессов [Электронный ресурс]. – *URL:* http://www.climatepiter.com/conditioning_systems/ (дата обращения: 25.06.2017).

5. Управление микроклиматом [Электронный ресурс]. – *URL*: http://www.building-materials.ru/articles/articles_3484.html (дата обращения: 25.06.2017).

05.13.06

А.Ю. Москоков

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
электротехнический факультет, кафедра микропроцессорных средств автоматизации,
Пермь, moskokov@mail.ru

РАСЧЕТ ФУНКЦИИ ДВИЖЕНИЯ СЕРВОПРИВОДА ДЛЯ РАСПРЕДЕЛЯЮЩЕГО МЕХАНИЗМА В КОНВЕЙЕРНЫХ ЛИНИЯХ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-4-149-152

В статье рассмотрены вопросы построения функции движения для сервопривода распределяющего механизма в конвейерных линиях. Задача состоит в изменении интервалов движения рядов продукции при переходе от одного конвейера к другому, расчет приводится в общем случае для нескольких рядов продукции. В качестве программно-технического комплекса использовалось оборудование фирмы Allen Bradley.

Ключевые слова*: сервопривод, функция движения.*

В производстве часто встречаются механизмы для перераспределения режимов и интервалов следования продукции по конвейерным линиям. Ранее широко применялись механические связи для управления участками линии и общей синхронизации, в таком случае приходилось рассчитывать кулачковый механизм. Такие системы не обладают достаточной гибкостью настройки и возможностями модернизации и достаточно сложны по конструкции в разработке, изготовлении, ремонте и обслуживании [1]. Поэтому в настоящее время часто используются сервоприводы для каждого отдельного участка с централизованными системами управления либо синхронизации, реализующие эффективные управляющие алгоритмы [2-4].

В нашем случае имеется два участка линии, первый движется дискретно (со скоростью V_1, и с периодом t_0+t, где t_0 – время паузы), второй непрерывно (со скоростью V_2), необходимо разработать алгоритм работы промежуточного механизма для передачи нескольких (на рисунке количество рядов n=3) рядов продукции с первого участка с равномерным распределением на втором участке (рис 1).

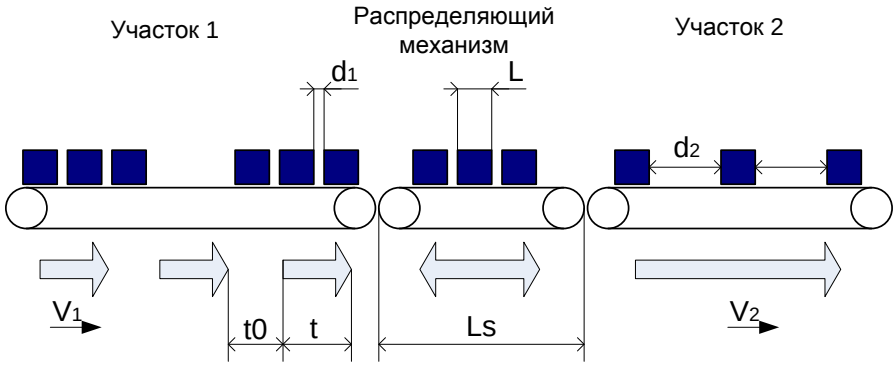


Рис. 1 – участок технологической линии

Использование кулачкового механизма не является достаточно гибким решением, вследствие невозможности быстрого изменения параметров линии, поэтому в последние время в данных задачах чаще используется сервоприводы.

Программное обеспечение некоторых сервоприводов позволяет по точкам вводить функцию перемещения с выбором линейной или сплайновой аппроксимации. В соответствие с этим необходимо определить функцию перемещения с вышеуказанными исходными данными.

Уравнения определяющие ключевые точки движения:

$$x_0 = 0$$

$$x_1 = x_0 + \frac{V_1^2}{2a}$$

Здесь a –ускорение не превышающее максимальное (a_{max}) при котором не происходит проскальзывания продукции на конвейере.

$$x_2 = x_1 + n * L + (n-1) * d_1$$

$$x_3 = x_2 + L_s - n * L + (n-1) * d_1$$

$$x_4 = x_3 + L - d_x$$

Здесь L-d_x – расстояние которое необходимо продукту преодолеть на участке 2, чтобы дальнейшее движение распределяющего механизма не влияло на его положение.

$$x_5 = x_4 - \frac{V_2^2}{2a}$$

Эта движение назад необходимее для разгона до скорости V_2 не превышая ускорение a_{max}.

$$x_6 = x_5 + \frac{V_2^2}{2a}$$

$$x_7 = x_4 + L + d_1$$

Для n>2 система для каждого следующего ряда добавятся точки

$$x_{i+5} = x_{i+4} - \frac{V_2^2}{2a}$$

$$x_{i+6} = x_{i+5} + \frac{V_2^2}{2a}$$

$$x_{i+7} = x_{i+3} + L + d_1$$

Таким образом, если шаги движения сервопривода распределяющего механизма не привязаны к шагам всей линии, можно строить функцию движения в заданном промежутке времени t_0+t, где временные интервалы легко подбираются вручную.

Задание кривой движения показано на рисунке 2. При задании точек необходимо контролировать чтобы максимальные значения ускорения (зеленая линия) не превышали a_{max}.

Однако, часто для синхронизации движения большого количества приводов, необходимо большое определенное количество точек для данной функции движения. В подбор точек вручную может привести к резким рывкам, проскальзывании продукции и увеличению времени пуско-наладки системы. При достаточно большом t_0+t, ускорения могут быть разные, однако при больших ограничениях по времени все ускорения разгона и торможения должны быть одинаковыми, для снижения нагрузки и вероятности проскальзывания.

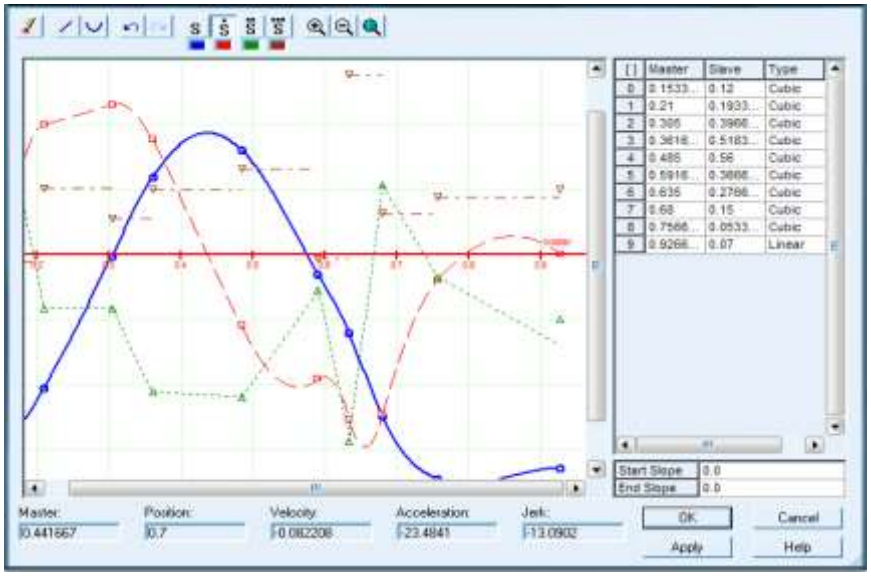


Рис. 2 – Пример задание функции движения для независимого привода

Это позволяет вычислить ускорение, исходя из того $t_1+t_2+t_3+ \ldots+t_p= t_0+t$. Допустим количество шагов в периоде m. Тогда необходимо определить массивы точек X_{0-1}, $X_{1-2}\ldots$ $X_{(n-1)-p}$

$$x_{0-1,1} = a\frac{(t_0+t)^2}{2*360^2}$$

$$x_{0-1,i} = a\frac{(t_0+t)^2}{2*360^2}*i^2$$

$$\ldots\ldots$$

Определив все точки можно занести значения в таблицу в правой части редактора. В нашем случае была рассчитана функция движения для 180 шагов в периоде и 10 таких периодов в периоде движения всей линии.

Данная методика была разработана для решения задачи возникшей при модернизации линии производства шоколадных батончиков. Для повышения производительности линии было решено перейти от лотков с двумя рядами продукции к лотам с тремя рядами, промежутки были уменьшены, размер лотков остался прежним. Существующая функция движения для распределения двух рядов была заменена функцией для трех рядов продукции. Линия управляется центральным контроллером фирмы Allen Bradley, ControlLogix L62, который синхронизирует работу всех сервоприводов - Kinetics 6000 [5, 6]. Для связи используются, специализированный для управления сервоприводами, SERCOS Interface.

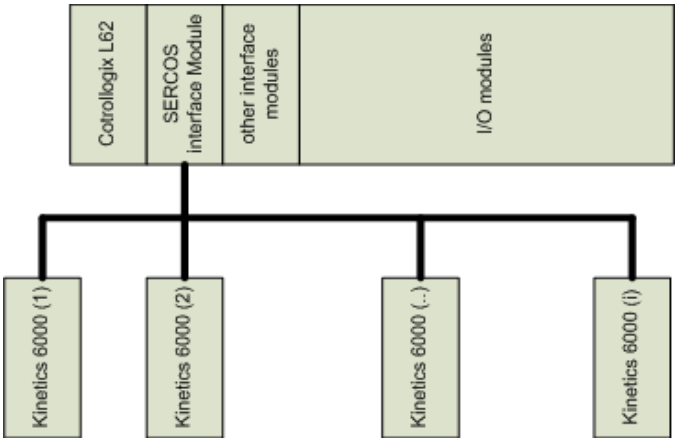


Рис. 3 – Структура системы управления линии с сервоприводами

Для возможностей гибкой настройки и точной настройки выбрано количество шагов на период – 360, и при задании функции движения указывается 10 периодов. Большое количество ходов определяется тем, что отдельные части линии могут иметь период кратный или отличный от периода движения распределяющего механизма.

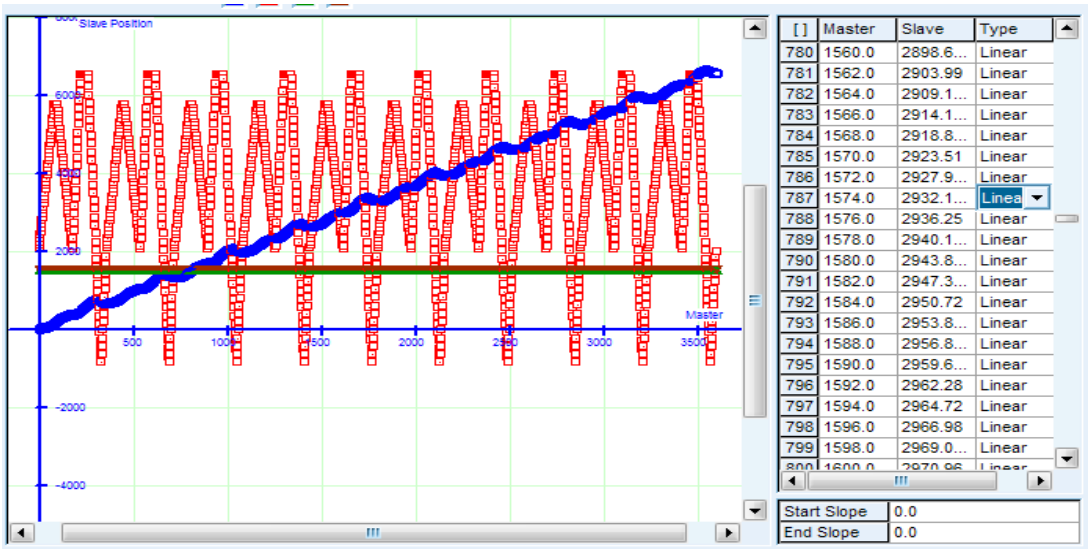


Рис. 4 – Пример задание функции движения для зависимого привода

Проведя измерения продукции, лотков и других размеров линии, мы определили начальные условия для определения функции движения. Для задания профиля достаточно определить координаты точки, исходя из координат, дискретизации по времени и характера линии (линейные и кубические отрезки). Результаты расчетов были помещены в таблицу задания профиля в программном обеспечении, результат мы видим на рисунке 4.

Список литературы

1. Методология безнагрузочных испытаний асинхронных электродвигателей после ремонта / Казанцев В.П., Костыгов А.М., Кузнецов М.И., Москоков А.Ю. // Электротехника. – 2010. – № 6. – С. 39-43.
2. *Казанцев В.П., Даденков Д.А., Дударев Д.С.* Микропроцессорная система регулирования скорости рабочего органа механизма в электромеханической системе с упругими связями // Вестник ПНИПУ. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2012. – № 6. – С. 160-167.
3. *Казанцев В.П., Даденков Д.А.* Синтез дискретнонепрерывных систем управления электроприводами с упругими связями // Электротехника. 2012. – № 11. – С. 24а-28.
4. *Даденков Д.А., Казанцев В.П.* О синтезе пассивно-адаптивных систем управления электроприводом // Электротехника. – 2015. – № 11. – С. 42-47.
5. Logix5000 Controllers Generals Instructions Reference. Rockwell Automation Publication. 2014.
6. Logix5000 Controllers Motion Instructions. Rockwell Automation Publication. 2014.

05.13.06

И.С. Надеждин

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Физико-технический институт, кафедра электроники и автоматики физических установок,
Томск, kun9@list.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РАЗРЯДОВ МЕЖДУ МЕТАЛЛИЧЕСКИМИ ШАРИКАМИ В ВОДНОМ РАСТВОРЕ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-4-153-155

В работе представлено математическое моделирование распространения электрических разрядов между металлическими шариками в водном растворе. Для разработки математической модели был использован метод вероятностных клеточных автоматов. Результаты моделирования были сопоставлены с экспериментальными данными.

Ключевые слова: *разрядные дорожки, вероятностные клеточные автоматы, электроэрозионная обработка, металлические шарики.*

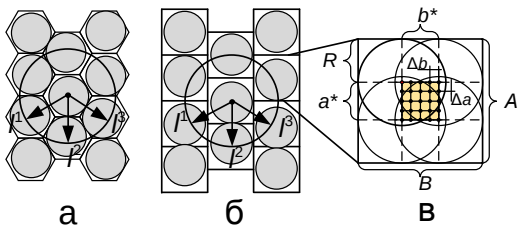
Для очистки промышленных стоков от загрязнителей (Ni, Cr, Si, As) применяется электроэрозионный метод водоочистки, который заключается в следующем [1]. Межэлектродное пространство в аппарате заполняется металлическими шариками. Через слой загруженных шариков пропускают электрические импульсы короткой длительности, в результате чего между шариками возникают электрические разряды. При этом на поверхности шариков происходит процесс эрозии и выделение высокодисперсных частиц, которые окисляются водой и растворенным в ней кислородом. Образующиеся гидроксиды и оксиды металла, являются активными коагулянтами, эффективно сорбирующими примеси, содержащиеся в воде.

Для определения концентрации примесей в очищаемой воде необходимо определить массу продуктов электроэрозии, которая пропорциональна объему и количеству образовавшихся эрозионных лунок на поверхности шариков [2]. Количество образовавшихся эрозионных лунок зависит от количества разрядов, возникающих между шариками в результате электрического импульса.

Целью данной работы является разработка математической модели распространения электрических разрядов между металлическими шариками в водном растворе. В дальнейшем, математическая модель будет использоваться для оптимизации процесса водоочистки.

Место зарождения и траектория распространение электрических разрядов между шариками имеют стохастический характер, поэтому для разработки математической модели был использован метод вероятностных клеточных автоматов.

Один определенный шарик в аппарате, соседствует с 6 шариками из слоя в котором он находится и по 3 шарика окружают его с верху и снизу. Распределение шариков в каждом слое загрузки удовлетворяет гексагональной решетке клеточных автоматов (рисунок 1а). В каждой ячейке располагается один металлический шарик. Для однозначного задания координат клеток и возможности моделирования, гексагональная решетка претерпевает определенные преобразования (рисунок 1б).



а) исходная гексагональная решетка; б) расчетная решетка, реализуемая в ЭВМ;
в) схема определения положения шарика в ячейке

Рис. 1 – Расположение металлических шариков в слое загрузки

Межэлектродное пространство было представлено как последовательно-параллельная цепь из резисторов. В качестве резисторов в цепи выступают металлические шарики и водяная пленка между ними. Как бы плотно шарики не прилегали друг к другу между ними существует тонкая пленка воды (≈ 1 мкм). Чем тоньше водяная пленка, тем меньшим сопротивлением она обладает и тем больше вероятность разряда пройти через нее. Толщина водяной пленки зависит от расположения шариков в аппарате, которые располагаются произвольным образом. Шарики, находясь в своих ячейках являются смещенными с какую-то сторону (рисунок 1). Возникновение разрядной «дорожки» на границе потенциального электрода и шариков также является вероятностным процессом, и также зависит от расположения шариков в аппарате. Изначально задается некоторое предельное расстояние от электрода до шариков ($l_{эл\text{-}шар}$) в ближайшем к нему ряду. В случае, если расстояние между электродом и рассматриваемым шариком меньше указанного ($l_{эл\text{-}шар}$), то между ними возникает пробой. Принято, что центр шарика может находиться в некоторой допустимой зоне $a^*\times b^*$ (рисунок 1в). Численно размеры этой зоны определяются из следующих выражений:

$$a^* = A - d_{шар},\ A = d_{шар} + l_{вод.пл.}\ \text{и}\ b^* = B - d_{шар},\ B = d_{шар} + l_{вод.пл.} \quad (1)$$

В выражении (1), A и B параметры, определяемые толщиной водной пленки между шариками (мм); $d_{шар}$ диаметр шариков загрузки (мм); $l_{вод.пл.}$ толщина водной пленки (мм).

Далее задается число возможных положений центра шарика в зоне $a^*\times b^*$ и вычисляются соответствующие шаги Δa и Δb по формулам:

$$\Delta a = a^* \cdot (n_a^{max})^{-1}\ \text{и}\ \Delta b = b^* \cdot (n_b^{max})^{-1} \quad (2)$$

В выражении (2), n_a^{max} и n_b^{max} максимальное число возможных положений центра шарика в зоне $a^*\times b^*$. Размещение центра шарика в одном из возможных положений осуществляется с помощью функции, возвращающей два случайных целых числа от 0 до n_a^{max} и n_b^{max}.

Одним из параметров каждой клетки автомата является проводимость соответствующей водяной пленки, которая определяет ток, протекающий между двумя шариками, и определяемый по следующей формуле:

$$I = U_{имп} \cdot S \cdot \gamma \cdot (l_{шар\text{-}шар})^{-1} \quad (3)$$

В выражении (3), $U_{имп}$ напряжение импульса (В); S площадь сечения канала (мм^2); γ электропроводность водного раствора (Ом$^{-1}$·мм$^{-1}$); $l_{шар\text{-}шар}$ расстояние между шариками (мм).

Разряд имеет три потенциальных направления для распространения от потенциального электрода к заземленному (рисунок 1). Для определения траектории разрядной «дорожки» осуществляется поиск минимального расстояния между соседними шариками, с помощью проверки условий:

$$\begin{cases} l^1_{шар\text{-}шар} < l^2_{шар\text{-}шар}\ \&\ l^1_{шар\text{-}шар} < l^3_{шар\text{-}шар} \\ l^2_{шар\text{-}шар} < l^1_{шар\text{-}шар}\ \&\ l^2_{шар\text{-}шар} < l^3_{шар\text{-}шар} \\ l^3_{шар\text{-}шар} < l^1_{шар\text{-}шар}\ \&\ l^3_{шар\text{-}шар} < l^2_{шар\text{-}шар} \end{cases} \quad (4)$$

При нахождении минимального расстояния, соответствующая ячейка меняет свое состояние.

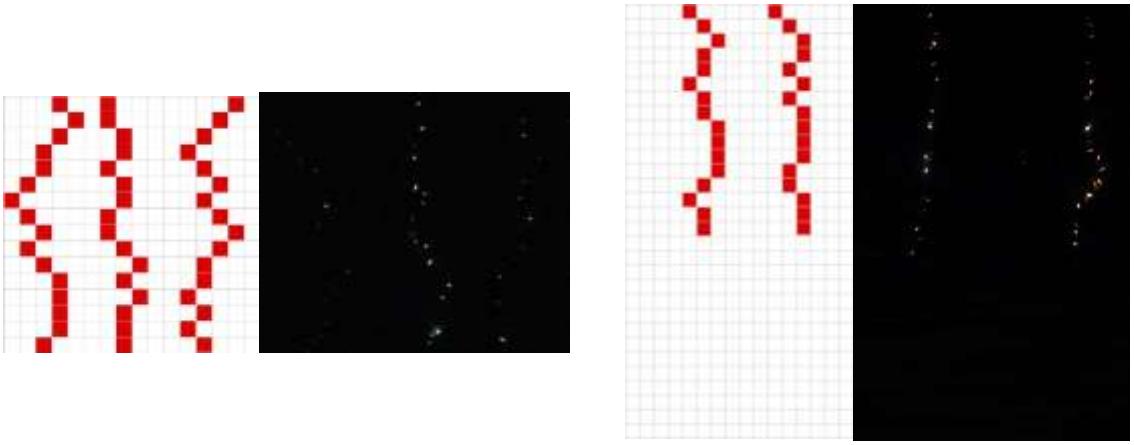
На длину разрядных «дорожек» влияет напряженность неоднородного электрического поля (E) в межэлектродном пространстве, которая уменьшается по экспоненциальному закону. На определенном расстоянии от потенциального электрода напряженность принимает значение меньшее чем значение критической напряженности ($E_{кр}$). При $E<E_{кр}$ не происходит пробой водной пленки между шариками и часть шариков не подвергаются разрядам. Длина искровой «дорожки» вычисляется по выражению:

$$l_{раз.\text{"дор."}} = -a \cdot l^b_{электр} \cdot [\ln(1 - E_{кр} \cdot E_0^{-1})]^{-1} \quad (5)$$

В выражении (5), a = 31,93 и b = 0,0204 эмпирические коэффициенты; $l_{электр}$ длина межэлектродного пространства (мм); E_0 напряженность поля, у поверхности потенциального

электрода (В/мм); $E_{кр}$ критическая напряженность, рассчитываемая с помощью формулы Мартина [3].

Результаты моделирования и экспериментальных исследований представлены на рисунке 2.



расстояние между электродами 100 мм расстояние между электродами 180 мм

Рис. 2 – Результаты моделирования и экспериментальных исследований

При увеличении расстояния между электродами электрические разряды не достигают заземленного электрода, так как недостаточно напряженности электрического поля (рисунок 2). В ходе работы было сделано 30 экспериментов для каждого межэлектродного промежутка. Количество разрядных «дорожек» каждый раз изменялось в диапазоне от 2 до 5 штук. Полученные результаты были сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Результаты экспериментов и моделирования

Количество разрядных «дорожек»	Длина межэлектродного расстояния, мм			
	100		180	
	Вероятность возникновения, %		Вероятность возникновения, %	
	Модель	Эксперимент	Модель	Эксперимент
2	10,0	10,0	73,3	66,6
3	70,0	73,3	20,0	26,7
4	13,3	16,7	6,7	6,7
5	6,7	3,3	0	0

При межэлектродном расстоянии 100 мм характерным является возникновение 3 разрядных «дорожек», а при межэлектродном расстоянии 180 мм характерным является возникновение 2 разрядных «дорожек» (таблица 1). Расхождение между экспериментальными и расчётными данными составляет 3,4 % для межэлектродного расстояния равного 100 мм и 5,2 % для межэлектродного расстояния равного 180 мм.

При недостаточной мощности подаваемых электрических импульсов не все шарики подвергаются обработке (рисунок 2 и таблица 1). В связи с этим, определение оптимального значения мощности подаваемых электрических импульсов является актуальной задачей.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-31-00085 мол_а.

Список литературы

1. *Горячев В.Л., Рутберг Ф.Г., Федюкович В.Н.* Электроразрядный метод очистки воды. Состояние проблемы и перспективы // Известия академии наук. Энергетика. – 1998. – №1. – С. 40-55.

2. *Nadezhdin I.S., Papasidero D., Goryunov A.G., Manenti F.* Optimisation of EDM Process for Water Purification. Chemical Engineering Transactions, Vol. 52, 2016, pp. 325 – 330.

3. *Ушаков В.Я.* Импульсный электрический пробой жидкостей. Томск.: Изд-во Томского университета, 1975. – 256 с.

05.13.06

И.А. Ощепкова, О.А. Билоус

ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», Пермь, boa@msa.pstu.ac.ru

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ МАСЛООХЛАЖДЕНИЯ В ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩЕМ АГРЕГАТЕ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-4-156-158

Для осуществления автоматизации процесса воздушного охлаждения масла на газоперекачивающем агрегате ГПА-1601 "Иртыш" произведено математическое описание АВОН (аппарата воздушного охлаждения масла). Разработана структурная схема системы управления. Произведен расчет параметров передаточных функций элементов САУ и параметров регулятора с учетом режима. Произведено моделирование переходных процессов в режимах охлаждения и нагрева.

Ключевые слова: *аппарат воздушного охлаждения масла (АВО), передаточная функция, ПД-регулятор.*

Проблему контроля технологических параметров работы аппаратов воздушного охлаждения масла (АВОМ) на газоперекачивающем агрегате существующие системы автоматизации в большинстве случаев решают только частично. Внедрение системы автоматического регулирования режимов работы аппаратов воздушного охлаждения масла позволит обеспечить качество процесса перекачивания газа. Система управления аппаратом должна обеспечивать режим «Нагрев» – разогрев маслосистемы аппарата до температуры уставки и режим «Охлаждение» – режим поддержания текущей температуры масла на выходе аппарата. При автоматизации охлаждения масла необходимо регулировать производительность вентиляторов, так как фактическая потребность в подаче воздуха непрерывно меняется под воздействием: температуры масла на входе; изменения температуры воздуха окружающей среды; колебания температуры теплообменной секции и др.

Характерными показателями, определяющими работу аппарата воздушного охлаждения, являются: температура охлаждающего (атмосферного) воздуха $T_в$, ºС; температура масла на входе в аппарат $T_{мвх}$, ºС; необходимая температура масла на выходе из аппарата, $T_{мвых}$, ºС; прокачка масла через аппарат, $G_м$, м3/ч; уставка температуры, до которой необходимо разогреть маслосистему маслоохладителя перед прокачкой масла через маслоохладитель (рекомендуемое значение $T_{норм}$ =15 ºС);

Аппараты воздушного охлаждения располагают на открытом воздухе рядом со зданием компрессорного цеха. На входе в АВО установлены жалюзийные решетки для регулирования расхода воздуха.

Функциональная схема процесса воздушного охлаждения масла приведена на рис. 1. На схеме представлены: вентилятор для охлаждения воздуха, вентилятор с электрокалорифером для нагрева секций теплообменника, асинхронные двигатели, частотные преобразователи, теплообменный аппарат и четыре датчика температуры.

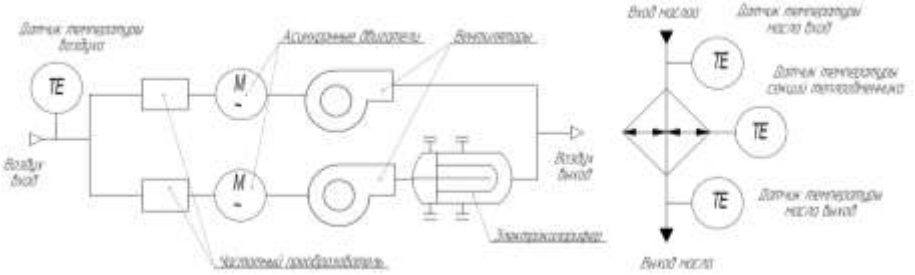


Рис. 1 – Функциональная схема процесса воздушного охлаждения масла

Передаточная функция теплообменника по отношению к управляющему воздействию – объемному расходу воздуха имеет $G_в$ вид динамического звена второго порядка [1]. С учетом

параметров в численном виде:

$$W_{\text{т}}(p) = \frac{1{,}0043}{412{,}135p^2 + 67{,}285p + 1} = \frac{1{,}0043}{(6{,}816p + 1)(60{,}469p + 1)}$$

Асинхронный электродвигатель рассматривается в виде динамического звена второго порядка [2]

$$W_{\text{ад}}(p) = \frac{\omega(p)}{f_1(p)} = \frac{k_{\text{ад}}}{a_{00}p^2 + a_{10}p + 1} = \frac{k_{\text{ад}}}{(T_{\text{я}}p + 1)(Jp + 1)}$$

Параметры асинхронного электродвигателя: $J = 0{,}0034$ кг $\cdot$ м^2; $f_1 = 50$; $n_{\text{н}}$=1410 об/мин; $P_{\text{н}} = 1{,}1$кВт; $\lambda_{max} = M_{max}/\text{M}_{\text{н}} = 2{,}4$; $p_n = 2$; $U_{\text{ф}} = 220$. С учетом данных параметров следует, что $k_{\text{ад}} = 1{,}0043$, $a_{00} = 0{,}1101$, $a_{10} = 0{,}594$.

Вентилятор представлен апериодическим звеном

$$W_{\text{в}}(p) = \frac{\text{G}_{\text{в}}(p)}{\omega(p)} = \frac{k_V}{T_V p + 1}$$

Параметры вентилятора имеют значения: $\omega_{00} = 62{,}7$рад/сек; $a = 3{,}54$; $b = 0{,}0589$; $c = 0{,}612$; $l_{\text{в}} = 5$м; $S_{\text{в}} = 0{,}9$м^2. С учетом данных параметров следует, что $k_V = 0{,}4042$, $T_V = 1{,}202$

При расчетах принято, что коэффициенты передачи силового преобразователя, возмущающего воздействия изменения температуры теплообменника и воздуха, а также датчика температуры равны единице: $k_{\partial m} = 1,\ k_{\text{в3}} = 0{,}1, k_{cn} = 1$.

Передаточная функция датчика температуры масла представлена апериодическим звеном с постоянной времени $T_{\partial m}$ =40.

Передаточная функция калорифера

$$W_{\text{к}}(p) = \frac{83{,}3}{6630p + 1} e^{-3p}$$

Передаточная функция замкнутой системы охлаждения (величинами a_{00}, a_{10} и T_V можно пренебречь), имеет вид:

$$W_{\text{з}(1)}(p) \sim \frac{1}{k_{\partial m}(\frac{T_u T_{11} T_{\partial T}}{k} p^3 + \frac{(T_{11} + T_{\partial T})T_u}{k} p^2 + T_u p + 1)}$$

$k = k_{n\partial} k_{cn} k_{\partial y} k_V k_G k_{\partial T}$

Характеристическое уравнение:

$$a_1 p^3 + a_2 p^2 + a_3 p + 1 = 0$$

где $a_1 = \frac{T_u T_{11} T_{\partial T}}{k};\ a_2 = \frac{(T_{11} + T_{\partial T})T_u}{k};\ a_3 = T_u$.

Области качества регулирования позволяют настроить систему управления АВО масла на желаемый характер переходного процесса [3].

Для вычисления требуемых параметров регуляторов $T_{\text{и}}$ и k определяются координаты изображающей точки на плоскости параметров $\frac{T_{11} T_{\text{дТ}}}{k}$ и $\frac{T_{11} + T_{\text{дТ}}}{k}$, промасштабированных через величину постоянной времени $T_{\text{и}}$. Эти координаты позволяют составить систему уравнений:

$$\begin{cases} T_{11} T_{\partial T} = 0{,}02 k {T_u}^2 \\ T_{11+} T_{\partial T} = 0{,}24 k T_u \end{cases}$$

Постоянная времени ПД-регулятора равняется наибольшей постоянной времени системы управления $T_{\text{дТ}} = T_{22} = 60{,}469$.

Полагая, что величины $k_{\text{сп}}, k_{\text{ду}}, k_V, k_G, k_{\text{дТ}}, T_{11}$ и $T_{\text{дТ}}$ известны, получаем $T_{\text{и}} = 35$, $k_{\text{пд}} = 8{,}76$.

Для режима нагрева передаточная функция будет иметь вид

$$W_{\text{з}(2)}(p) \sim \frac{1}{k_{\partial m}(\frac{T_u T_{22} T_{\partial T}}{k} p^3 + \frac{(T_{22} + T_{\partial T})T_u}{k} p^2 + T_u p + 1)}$$

Характеристическое уравнение:

$$b_1 p^3 + b_2 p^2 + b_3 p + 1 = 0$$

где $b_1 = \frac{T_u T_{22} T_{\partial T}}{k};\ b_2 = \frac{(T_{22} + T_{\partial T})T_u}{k};\ b_3 = T_u$.

Для режима нагрева параметры регулятора вычисляются аналогично, через координаты изображающей точки на плоскости области качества регулирования системы управления

АВО: $T_B = 145; k_{ПД} = 0.54$.

Постоянная времени ПД-регулятора равняется наибольшей постоянной времени системы управления $T_{дТ} = T_к = 6630$.

Структурная схема системы автоматического управления в режиме «охлаждение» представлена на рис. 2, в режиме «нагрев» представлена на рис. 3.



Рис. 2 – Структурная схема системы автоматического управления в режиме «охлаждение»

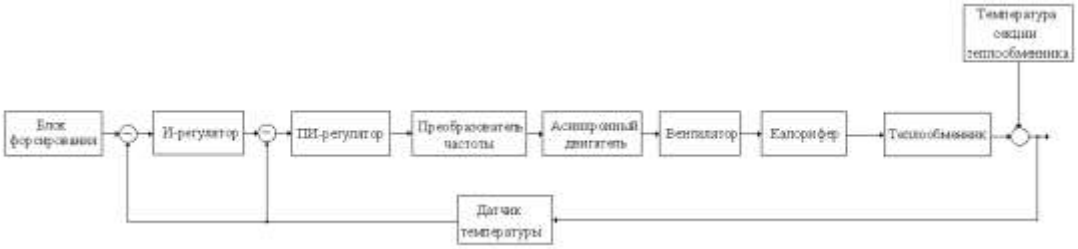


Рис. 3 – Структурная схема системы автоматического управления в режиме «охлаждение»

При моделировании процесса охлаждения масла без использования двухконтурной системы длительность переходного процесса составила 469 с. В режиме нагрева теплообменных секций переходный процесс также не достигает заданного значения, является апериодическим и составляет 747 с, что не соответствует установленным требованиям [4]. При моделировании многоконтурной системы (рис. 4) по значению температуры теплообменника и масла на входе в аппарат время переходного процесса с учетом вариации параметров объекта в режиме «Охлаждение» составит примерно 101 с, что в 4.5 раза меньше времени исходной системы. В режиме «Нагрев» время переходного процесса составит примерно 520 с, процесс становится монотонным, что соответствует установленным требованиям.

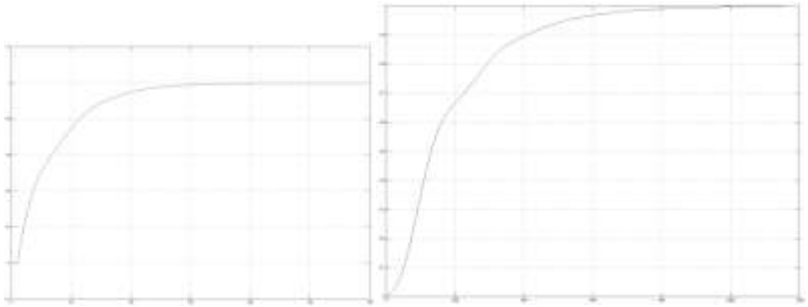


Рис. 3 – Графики переходных процессов по управляющему воздействию в режимах «Охлаждение» и «Нагрев»

Список литературы

1. *Алимов С. В., Мигачева Л. А., Титов А. Р.* Передаточные функции теплообмена в аппарате воздушного охлаждения масла // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Технические науки. – 2012. – № 4 (36). – Самара: СамГТУ, 2012. – С. 202.

2. *Булгаков А.А.* Частотное управление асинхронными двигателями. 3-е изд. М.: Энергоиздат, 1982. 136 с.

3. *Галицков С. Я., Галицков К. С.* Многоконтурные системы управления с одной измеряемой координатой: Монография. – Самара: СГАСУ, 2004. – 87 с.

4. *Бесекерский В. А., Попов Е. П.* Теория систем автоматического регулирования. – М.: Наука, 1975. 237 с.

05.13.06

А.В. Папулов, А.А. Бачурин

Пермский Национальный Исследовательский Политехнический Университет,
электротехнический факультет, кафедра микропроцессорных средств автоматизации,
Пермь, papulovanton@mail.ru, a.bachurin@pstu.ru

МЕТОДИКА ВЫБОРА СПОСОБА МОДЕРНИЗАЦИИ СЕТЕЙ НАРУЖНОГО ОСВЕЩЕНИЯ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-4-159-161

В данной статье рассматриваются способы повышения энергоэффективности наружного освещения. Представлен обзор решений проблем в наружном освещении. Показана приблизительная оценка эффективности каждого мероприятия. Описан общий случай для расчета энергоэффективности мероприятий для наружного освещения.

Ключевые слова: *наружное освещение, энергоэффективность, методика расчета, анализ решений.*

Энергоэффективность является важной и всегда актуальной частью экономики России и мира [1]. Проведение мероприятий по повышению энергоэффективности наружного освещения (НО) может заметно снизить потребление электрической энергии определенным участком сети. Известно множество способов повышения энергоэффективности НО [2,3], вследствие этого затрудняется выбор мероприятий. Целью данной работы является разработка методики для расчета положительного эффекта от внедрения мероприятий для повышения энергоэффективности НО. Главным анализируемым показателем является электроэнергия, потребляемая наружным освещением. В общем случае, формула расчета количества электроэнергии потребляемого наружным освещением имеет вид:

$$W_T = \int_0^T P dt \quad (1)$$

Для экономии электроэнергии требуется понижать потребляемую мощность и/или сокращать время работы ламп.

Мероприятия по повышению энергоэффективности наружного освещения. Известен широкий спектр мероприятий по повышению энергоэффективности освещения. Рассмотрим некоторые из мероприятий с приблизительным показателем энергоэффективности (в процентах):

1. Схема с двухрежимными электромагнитными пускорегулирующими аппаратами (ЭмПРА), обеспечивающая уменьшение освещенности в ночном режиме до 50% (экономия электроэнергии до 30 %);
2. Пофазное отключение в ночное время (до 50%);
3. Замена ЭмПРА на 3-х режимные электронные пускорегулирующие аппараты (ЭПРА)[3] (до 50%);
4. Переход на эффективные лампы (30 – 80%);
5. Использование многозонного регулирования светового потока установок НО в течение суток [2] (30 – 40%);
6. Точное одновременное автоматическое включение и отключение НО в зависимости от величины наружной освещенности, а не по графику с ручным контролем и прогнозом [3] (3–5%);

Разработка методик расчета энергоэффективности для основных мероприятий. Для выбора наиболее оптимального комплекса мероприятий по повышению энергоэффективности НО необходимо провести предварительный расчет положительного эффекта от применения данных мероприятий к конкретному объекту. Наилучшим вариантом является разработка общего алгоритма для автоматизированного расчета. Для начала

рассмотрим основные мероприятия, а затем обобщим результаты.

Эффективность от мероприятия отключения 2-х фаз в ночное время суток. На рисунке 1 представлен график режима отключения 2-х фаз в ночное время суток.

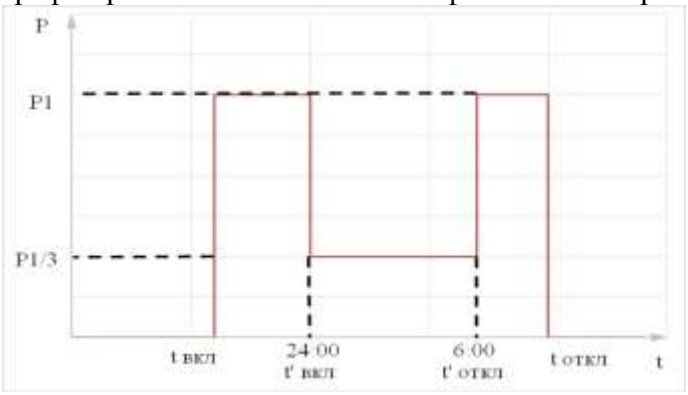


Рис. 1: Отключение 2-х фаз в ночное время суток

Суточное значение электроэнергии можно выразить в данной формуле:

$$W_{сут} = (t_{откл} - 6:00) \cdot P_1 + 6ч \cdot \frac{P_1}{3} + (24:00 - t_{вкл}) \cdot P_1, \quad (2)$$

Так как суточный график потребления мощности на протяжении года меняется, целесообразно для более корректных результатов рассчитывать время горения на протяжении года. В данном случае годовое время горения можно разбить на 2 составляющие: $T_{год \cdot 30\%}$ и $T_{год \cdot 100\%}$. Годовое значение электроэнергии:

$$W_{год} = T_{год \cdot 100\%} \cdot P_1 + T_{год \cdot 30\%} \cdot \frac{P_1}{3}. \quad (3)$$

Эффективность от внедрения 4-х режимного ЭПРА. В данном мероприятии система освещения в ночное время использует светильники на всех 3 фазах, но с меньшей мощностью(рис. 2).

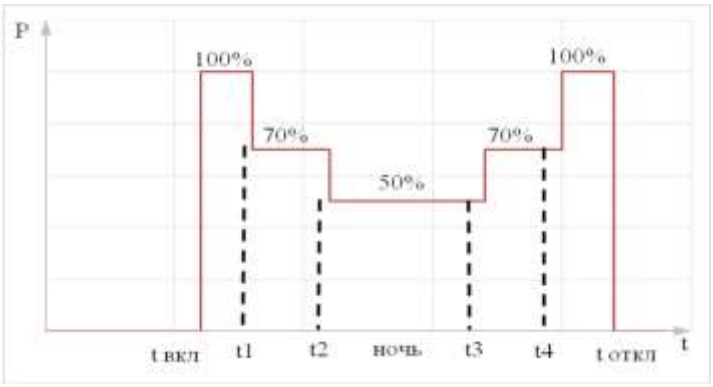


Рис. 2: 4-х режимный ЭПРА

Формулы для расчета примут следующий вид:

$$W_{сут} = \sum (t_i - t_{i-1}) \cdot P_m \quad (4)$$

$$W_{год} = \sum T_{год \cdot P_{m\%}} \cdot P_m \quad (5)$$

Также есть возможность использовать мультирежимное регулирование с большим количеством зон для лучшего соотношения с естественным светом.

Замена ламп. Полная мощность новых ламп, учитывая разные типы ламп и их количество:

$$P_{сум.нов} = \sum P_i \cdot n_i. \quad (6)$$

Расчет мощности осветительной установки производится по общей формуле.

Эффективность от мероприятия корректировки графика вкл/откл. Экономия электрической энергии при наладке графика переключений наружного освещения зависит от времени перепотребления:

$$\Delta T_{\text{перепотр-я}}: \Delta T_1, \Delta T_2, \Delta T_3 \ldots \Delta T_i. \quad (7)$$

Разработка общей методики расчета энергоэффективности. Ранее были рассмотрены способы расчета затрат электроэнергии при использовании некоторых мероприятий. На данном этапе обобщим полученные результаты. Приведем формулы для расчета времени горения, мощности осветительной установки и расчета энергоэффективности.

Время горения осветительной установки. В общем случае, время горения осветительной установки следует рассчитывать для годового интервала, которое будет зависеть от количества ступеней изменения мощности на протяжении суток:

$$T_{\sum год} = \sum_{j=1}^{365\ дней} \sum_{i=0}^{\text{n ступеней}} T_i \quad (8)$$

Мощность осветительной установки. При расчете суммарной мощности осветительной установки следует учитывать следующие показатели: мощность ламп; потери мощности в системе электроснабжения; потребляемая ЭПРА мощность; уровень напряжения в сети. Общая мощность осветительной установки, учитывая данные пункты, будет равна:

$$P_{ОУ} = \Delta P_{ЛЭП\,сети\,ОУ} + \sum_{\substack{по\,типу\,ПРА \\ j=1}}^{m} \left(\sum_{k=1}^{\substack{по\,номиналу \\ ламп\ z}} \frac{P_{ном.лампы\,k}}{КПД_{ПРА\,j}} \right) \quad (9)$$

Расчет энергоэффективности при использовании мероприятий. Расчет эффективности внедрения мероприятий будет исходить из основного показателя ΔW, который определяется разностью потребляемой годовой энергии до внедрения мероприятий и рассчитанной годовой энергии после проведении мероприятий $W_{год}$.

Расход электроэнергии до и после проведения мероприятий:

$$W_{до/после\ \text{мероприятий}} = \sum_{1}^{365} \sum_{i=0}^{n} T_i \cdot P_i \quad (10)$$

Энергоэффективность:

$$\Delta W = W_{до\ \text{мероприятия}} - W_{\text{после мероприятия}} \quad (11)$$

Общий алгоритм расчета электроэнергии выглядит следующим образом:
Выбор мероприятий–> Расчет полной мощности осветительных установок –>Расчет расхода электроэнергии после проведения мероприятия на каждом временном интервале ($W_i=P_i \cdot t_i$)–>Суммирование полного расхода электроэнергии (ΣW_i) –> Вывод полного расхода W.

Заключение. В результате работы сведены мероприятия по повышению энергоэффективности наружного освещения. Были разработаны методики расчета энергоэффективности от внедрения основных мероприятий. Разработана общая методика расчета энергоэффективности от проведения комплекса мероприятий. Данная методика может быть представлена в автоматизированном виде для более удобного использования.

Список литературы

1. Энергосбережение в освещении. Под ред. проф. Ю.Б. Айзенберга. М.: Издательство "Знак", 1999, 264 с.: ил.
2. *A. Bachurin* "City Outdoor Lighting System Control. Problems and Prospects" Proceedings of the 3rd International Conference on Applied Innovations in IT (2015). Jg. III. Koethen : HochschuleAnhalt, 2015, pp. 20-24
3. *Andrei Bachurin.* Improving the Energy Efficiency of Outdoor Lighting Systems Using the SmartLight Technology // Proc. of the 4th International Conference on Applied Innovations in IT, (ICAIIT), Anhalt, 2016, pp.9-13.
4. *Сапронов А., Никуличев А.* Способы и средства повышения энергоэффективности наружного освещения // Энергосовет, 2011. №2. С.51-54.

05.13.06

Р.Н. Петухов, Н.И. Хорошев

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
электротехнический факультет, кафедра микропроцессорных средств автоматизации,
Пермь, romanpetukhovv@gmail.com

КОНЦЕПЦИЯ ЕДИНОГО ИНФОРМАЦИОННОГО ПРОСТРАНСТВА ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО КЛАСТЕРА

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-4-162-164

В статье рассмотрена концепция единого информационного пространства территориального кластера. В настоящих условиях, характеризующихся большими потоками информации, задача формирования единого информационного пространства остаются достаточно актуальными. В статье предложена структура информационного пространства кластера. Модели реализации доступа к информационному пространству в виде инфраструктуры и сервиса, на основе облачных технологий.

Ключевые слова: *единое информационное пространство, территориальный кластер, облачные технологии.*

В программе социально-экономического развития России до 2025 года особое внимание уделяют созданию и развитию территориальных кластеров, как одного из эффективных способов повышения уровня технологичного развития. В первую очередь создание территориальных кластеров ориентировано на высокотехнологичные отрасли: IT-сферу, машиностроение, биотехнологии. Не смотря на свою направленность на высокотехнологичные отрасли, технология кластерного развития может применяться к другим обрабатывающим отраслям: целлюлозно-бумажная, сельское хозяйство, химическая отрасли.

Информационные ресурсы являются определяющим звеном в функционировании территориальных кластеров. Концепция кластерного развития подразумевает коммуникацию между предприятиями входящими в кластер. Наиболее перспективным направлением в области объединения предприятий и их информационных потоков является создание единого информационного пространства кластера, которое будет организовывать информационный обмен. Общая концепция единого информационного пространства подразумевает создание виртуальной информационной площадки[1].

Создание единого стандарта организации информационных потоков позволит эффективно распределить информационные потоки. Единство информации, её доступность позволит успешно взаимодействовать всем структурным элементам кластера.

При формировании единого информационного пространства территориального кластера стоит разделять две группы участников кластера: внешние и внутренние. В виду территориального распределения участников кластера, организация единого информационного пространства на основе облачных технологий является оптимальным решением. В настоящее время технология облачных вычислений реализует идею синергии участников, когда несколько участников справляются с задачей быстрее[2].

Процесс работы реализуется путем формирования единой информационной базы, которую наполняют участники кластера всей необходимой информацией, в соответствии со стратегией развития. В процессе функционирования единого информационного пространства территориального кластера, участники кластера имеют доступ к ранее загруженной информации, в соответствии с правами доступа к этой информации.



Рисунок 1 – Концепция единого информационного пространства территориального кластера

Облачные вычисления подразумевают три модели предоставления информационного ресурса участникам[3,4]: инфраструктура, платформа, программное обеспечение.

В модели IaaS (InfrastructureasaService) участникам предоставляется инфраструктура (серверы, сетевое оборудование, вычислительные мощности)

Модель Paas (PlatformasServise) подразумевает предоставление участникам кластера вычислительные мощности и прикладное программное обеспечение, для дальнейшей разработки клиентских приложений, которые должны предоставлять возможность получения и загрузки информации. В процессе формирования процессов функционирования кластера, участники кластера определяют основные и вспомогательные информационные потоки, и исходя из этих потоков разрабатывают клиентские приложения.

Модель Saas(SoftwareasService) подразумевает предоставление отдельного сервиса, осуществляющего сбор, обработку и предоставление информации к участникам территориального кластеракластера.

Для территориальных кластеров оптимально использовать две модели SaaS и PaaS, это обусловлено тем, что для постоянной работы кластера достаточно сервиса разработки прикладного программного обеспечения, а для выполнения базовых функций кластера достаточно готового программного обеспечения.



Рисунок 2 – Варианты реализации единого информационного пространства кластера

Для успешной интеграции информации в единую структуру необходимо единство стандартов. В виду распространенности системы 1С: Предприятие целесообразно использовать единый стандарт данной корпоративной информационной системы EnterpriseData, в совокупности с дополнительными табличными форматами, например, CSV(Comma-SeparatedValues). Использование этой информации позволит обеспечить единство экономической информации. Для объединения проектной информации следует использовать формат STEP (STtandartfortheExchangeoftheProductmodeldata), позволяющий интегрировать проектные системы всех предприятий, формирующих территориальный кластер[5,6].

Создание единого информационного пространства для территориальных кластеров достаточно сложная задача. Необходимо соответствовать всем современным стандартам жизненного цикла. Построение ЕИП должно производиться в соответствии с концепций CALS. Важным элементом формирования единого информационного пространства кластера является включение в информационную модель интеллектуальных подсистем формирующих предприятий, обеспечивающих поддержку принятия решений.

Таким образом, создание единого информационного пространства на основе облачных технологий территориального кластера позволяет:

- Обеспечить оперативный доступ к информации участников кластера.
- Организовать аналитические алгоритмы для получения статистической информации.
- Подключить к информационной системе территориально распределенных участников.
- Создать эффективный механизм распространения и обмена информации среди участников территориального кластера.

Список литературы

1. *Манцеров, С.А., Панов А.Ю.* Структурная систематика единого информационного пространства машиностроительного кластера // Вестник ВГТУ / ВГТУ. Воронеж, т. 4, № 1, 2008. С. 37-42.

2. *Липунцов Ю.П.* Управление процессами: методы управления предприятием с использованием информационных технологий - М.: ДМК Пресс, 2003. 223 с.

3. *Корнеев Н.В., Осипов И.В.* Задачи построения программы эксперта для организации облачной системы распределённых вычислений//Машиностроитель. 2012. № 7. С. 18-21.

4. *Бухановский А.В., Васильев В.Н., Виноградов В.Н., Смирнов Д.Ю., Сухоруков С.А., Яппаров Т.Г.* CLAVIRE: перспективная технология облачных вычислений второго поколения//Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2011. Т. 54. № 10. С. 7-14.

05.13.06

Р.А. Погораздов, Н.И Хорошев

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
электротехнический факультет, кафедра «Микропроцессорные средства автоматизации»,
rapogorazdov@gmail.com, horoshevni@mail.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РЕГУЛИРОВАНИЯ УРОВНЯ ЖИДКОСТИ В РЕЗЕРВУАРЕ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОГРАММИРУЕМОГО ЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЛЕРА И ПРОГРАММНОЙ СРЕДЫ MATLAB SIMULINK

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-4-165-167

В данной статье рассматривается пример реализации модели резервуара с жидкостью в программной среде MATLAB Simulink и регулирование его уровня посредством реализации управляющего алгоритма в среде Simatic Step 7 на базе программируемого логического контроллера Siemens Simatic S7-300.

Ключевые слова: резервуар, регулирование уровня, алгоритм, программируемый логический контроллер, Simatic S7-300, Simatic Step7, моделирование, Matlab, Simulink.

В современной промышленности важной задачей является контроль за выполнением технологических операций и их бесперебойное выполнение, причем с каждым годом требования к безопасности и эффективности производственных процессов растут. Немаловажным этапом для обеспечения данных требований является процесс разработки программного обеспечения и его тестирование для исключения возможных ошибок и сокращения времени пусконаладочных работ. Трудность реализации управляющих алгоритмов заключается в невозможности протестировать управляющие алгоритмы на реальном объекте до его непосредственного ввода в эксплуатацию. Данную проблему может решить комплекс программно-технических средств, который позволит создать виртуальную модель объекта и протестировать управляющие алгоритмы.

Основными целями данной статьи являются:

– описание методики программного моделирования объекта;

–апробация методики на примере реализации тестового объекта.

В работе решаются следующие задачи, способствующие достижению поставленных цели:

–описание методики программного моделирования;

–реализация тестовой программной модели;

–реализация управляющего алгоритма;

–проведение регулирования параметров программной модели.

Реализация принципа программного моделирования основана на создании виртуального объекта в программной среде *MATLABSimulink*. На основе созданной модели объекта в среде *MATLAB* его входы и выходы присваиваются к программным коммуникационным блокам, реализованным в программном расширении *MATLABSimulinkOPCToolbox*. Использование данного пакета позволяет обмениваться данными между *MATLABSimulink* и реальным *OPC* сервером. Далее данные с *OPC* сервера могут передаваться как в программируемый логический контроллер и обратно в систему моделирования. Таким образом получается замкнутый контур между виртуальным объектом управления и реальной системой управления.

Реализация данного метода позволяет моделировать широкий спектр технологических процессов без аппаратной реализации модели. Возможности моделирования данного метода ограниченны лишь возможностями программного обеспечения *MATLABSimulink* и математической сложностью создания модели системы.

Для развития и применения принципов программного моделирования сформированных в данной статье, была спроектирована тестовая модель, регулирование которой можно осуществлять с реального программируемого логического контроллера, в реальном режиме времени.

Модель представляет собой емкость с жидкостью на линии притока и стока которой установлены задвижки, степенью открытия которых регулируется уровень воды в емкости. Расход на линии притока зависит от степени открытия входной задвижки и соответственно расход на линии стока зависит от степени открытия выходной задвижки.

Входными переменными системы является расход на линии притока, расход на линии стока и уставки нижнего и верхнего уровня. Выходной переменной является уровень жидкости в емкости. Структурная модель объекта представлена на рисунке 1.

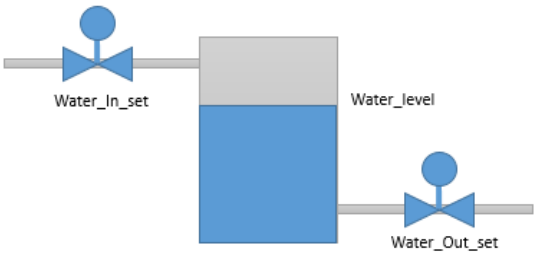


Рис. 1 – Структурная модель емкости с водой

В процессе реализации модели и алгоритма регулирования были использованы следующие переменные процесса:

– «*Water_In_set*» Тип данных: *REAL* - степень открытия входной задвижки;

– «*Water_Out_set*» Тип данных: *REAL* - степень открытия выходной задвижки;

– «*Water_level*» Тип данных: *REAL* - значение текущего уровня в емкости;

– «*Max_level*» Тип данных: *REAL* – уставка максимального уровня воды в емкости;

– «*Min_level*» Тип данных: *REAL* – уставка минимального уровня воды в емкости.

Программная модель емкости с водой была создана в программном пакете *MATLAB Simulink*. Для реализации модели были использованы следующие стандартные блоки программного пакета *MATLAB Simulink:*

– блок усиления «*GAIN*», выполняют умножение входного сигнала на постоянный коэффициент;

– интегрирующий блок «*Integrator*», выполняет интегрирование входного сигнала;

– блок умножения «*Product*», выполняет вычисление произведения текущих значений сигналов;

– блок вычисления суммы «*Sum*».

Программная модель емкости с жидкостью представлена на рисунке 10. Для передачи тегов из программной модели в контроллер были использованы блоки библиотеки *OPC Toolbox* (*OPC READ, OPC WRITE, OPC CONFIGURATION*).

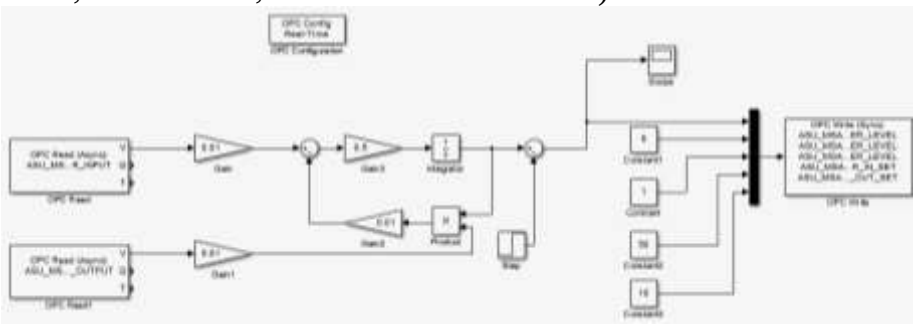


Рис. 2 – Вид модели наполнения емкости с водой в программном пакете *MATLABSimulink*

В качестве *OPC* сервера для связи с программируемым логическим контроллером был использован программный продукт *DeserverEx 6*.

*OPC*сервер был установлен на рабочую станцию оператора которая соединена с программируемым логическим контроллером по сети *Profinet*.

В качестве программируемого логического контроллера был использован *Siemens SimaticS7-300*, который имеет следующую конфигурацию:

- блок питания 24В *PS* 307 5А;
- процессорный модуль *CPU 315-2PN/DP*;
- модуль ввода-вывода дискретных сигналов *DI8/DO8xDC24V/0.5A*.

Алгоритм регулирования в контроллере был реализован в программном пакете SIMATIC STEP 7 на языке релейно-контакторной логики (LAD).

Основная задача системы управления поддержание уровня жидкости в ёмкости на установленном значении.

Основной алгоритм управления реализован в функциональном блоке FB200 с привязанным к нему информационным блоком DB200. Вызов исполнения алгоритма блока FB200 выполняется из блока OB1.

Алгоритм блока FB200 представлен на рисунке 3.

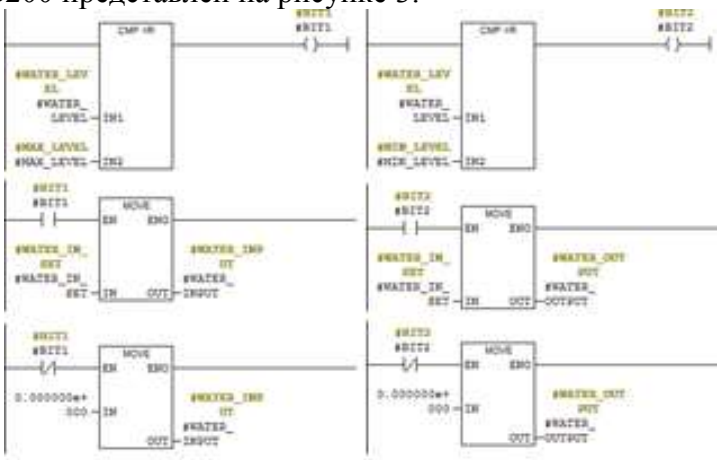


Рис. 3 – Алгоритм регулирования уровня, реализованный в программном пакете *SimaticStep 7*

Для визуализации процесса моделирования на панельном промышленном компьютере учебно-испытательного стенда была создана мнемосхема процесса, где отображены текущие выходные параметры и реализованы поля ввода значений для изменения параметров уставок верхнего и нижнего уровней, а также степени открытия входных и выходных задвижек.

Результаты моделирования процесса регулирования с использованием алгоритма реализованного в программируемом логическом контроллере в среде MATLABSimulink.

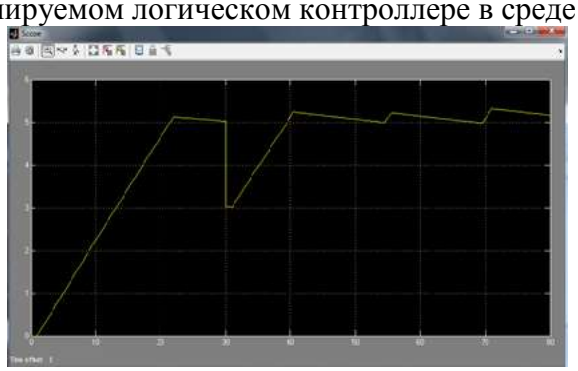


Рис. 4 – Вид результатов моделирования процесса регулирования с использованием алгоритма реализованного в программируемом логическом контроллере

Заключение: *В рамках данной статьи была рассмотрена методика реализации программного моделирования реальных технологических процессов и регулирования их параметров на основе использования реальной системы управления. В качестве демонстрации методики был приведен пример реализации модели резервуара с водой в программной среде MATLAB Simulink и сформировано регулирование его уровня посредством реализации управляющего алгоритма в среде Simatic Step 7 на базе программируемого логического контроллера Siemens Simatic S7-300.*

Список литературы

1. *Друзьякин И.Г.* Технические средства автоматизации. Конспект лекций. - Учеб. Пособие / Перм. гос. техн. ун-т. Пермь, 2011, 251с.

2. Siemens Industry Online Support – URL: http://support.automation.siemens.com/ (дата обращения: 15.04.2013).

3. *Лыков А.Н.* Автоматизация технологических процессов и производств / Учебное пособие. Пермь: Издательство Пермского государственного технического университета, 2008. – 423 с.

05.13.18

Ю.Г. Полкунов, Е.В. Спиридонова

Оренбургский государственный университет,
факультет математики и информационных технологий, кафедра прикладной математики,
Оренбург, polkunov_ug@mail.ru, ekvls@mail.ru

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАГРУЖЕННОСТИ КОНИЧЕСКИХ ДИСКОВЫХ ИНСТРУМЕНТОВ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-4-168-171

Статья посвящена разработке математической модели нагруженности конических дисковых инструментов при разрушении пород в условиях блокированного и свободного режимов разрушения. Адекватность результатов моделирования проверена на данных экспериментальных исследований.

Ключевые слова: *конический дисковый инструмент, разрушение, напряжения.*

Введение

Производственные исследования исполнительных органов с коническими дисковыми инструментами при добыче полезных ископаемых позволили улучшить сортовой состав, увеличить скорость подачи и уменьшить расход рабочего инструмента по сравнению с рабочими органами, оснащенными резцовым инструментом [1].

Разрушение слабых пород дисковым инструментом осуществляется двумя режимами - блокированным, когда разрушение осуществляется в окрестности лезвия, и свободным, когда поверхность разрушения выходит на свободную боковую поверхность, образуя осколок породы.

Анализ моделирования разрушения пород дисковыми инструментами в различных режимах разрушения показал, что на нагруженность дисковых инструментов оказывает влияние:

– структурные, деформационные и прочностные характеристики разрушаемого массива;

– режимы разрушения горных пород;

– параметры разрушения, зависящие от конструктивных характеристик исполнительного органа;

– кинематические характеристики движения дисковых инструментов в разрушаемой среде;

– геометрические характеристики инструмента.

Каждый из приведенных факторов в процессе разрушения горных пород при его замерах имеет статистический разброс. Чисто эмпирический подход по определению усилий на дисковых инструментах не позволяет точно определить усилия на оси инструмента в виду большого числа входных параметров. Поэтому в основу моделирования нагруженности дисковых инструментов с различной геометрической формой использовались механические модели, которые позволяют определить геометрические характеристики инструмента и режимные параметры, не включая их в статистический набор входных параметров.

Целью настоящей работы является разработка математической модели нагруженности конического дискового инструмента от геометрических, режимных параметров и прочностных характеристик горных пород.

Постановка задачи и алгоритм решения

Алгоритм построения математической модели нагруженности конического дискового инструмента состоял из следующих этапов:

1. Решение основных уравнений теории упругости для напряжений без учета объемных сил

$$\sigma_{ij,kk} + \frac{1}{1+\nu}\sigma_{kk,ij} = 0,$$

где σ_{ij} – компоненты тензора напряжений, методом граничных элементов в объемной подстановке [2]. На линии АВ (рис. 1) заданы напряжения

$$t_i = \sigma_{ij} n_j;$$

2. Анализа напряженно-деформированного состояния пород под лезвием дисковых инструментов, установление зон главных напряжений и описание поверхности разрушения уступа на основе теории прочности;

3. Определение контактных напряжений, при которых теоретические поверхности разрушения совпадали с экспериментальными;

4. Из условий равновесия усилий и моментов на дисковом инструменте произвести увязку сил на оси дискового инструмента с контактными усилиями с исключением геометрических характеристик дискового инструмента из статистического набора входных параметров.

В результате численных исследований было установлено, что:

– поверхность разрушения осколка породы описывается в зоне главных напряжений $\sigma_1 > 0, \sigma_2 < 0, \sigma_3 < 0$ критерием Лебедева-Писаренко

$$\chi\sigma_i + (1-\chi)\sigma_1 \le \sigma_p ,$$

где σ_1 – главное напряжение, Па;

σ_i – напряжение интенсивности, Па;

$\chi = \sigma_p/\sigma_{сж}$;

$\sigma_p, \sigma_{сж}$ – пределы прочности на одноосное растяжение и сжатие, Па. Типичный пример формы поверхности разрушения осколка приведен на рис. 1;

– краевые условия, при которых теоретическая форма осколка совпадает с экспериментальными данными, имеют вид

$$\sigma_n = pR\left(1-\cos\frac{2\pi\eta}{\theta}\right)\left(1-\cos\frac{\pi(\xi+b_L)}{b_L}\right)$$

где p – постоянная величина, зависящая от прочности породы, Па;

σ_n – нормальное напряжение, Па;

R – радиус дискового инструмента, м;

$\theta = \arccos\left(\frac{R-h}{R}\right)$ – угол контакта дискового инструмента с разрушаемой породой, рад.;

b_L – проекция длины контакта инструмента с породой по оси Ох, м;

η, ξ – криволинейные координаты;

h – глубина внедрения, м.

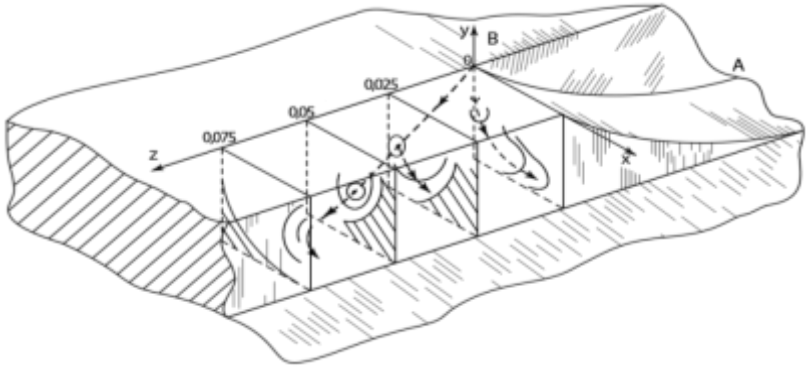


Рис. 1 - Поверхность разрушения выступа породы коническим дисковым инструментом при $t_p = 0{,}03$ м, $h = 0{,}03$ м, $R = 0{,}2$ м

Модель нагруженности

Расчётные формулы нагрузок на конических дисковых инструментах при разрушении пород, имеющих предел прочности горных пород на одноосное сжатие $\sigma_{сж} \le 30$ МПа, а в условиях блокированного и свободного режимов разрушения в результате математического моделирования имеют следующий вид:

$$P_z = D\theta\sqrt{\rho}\sqrt{5t_p}\,\frac{\sin(\varphi-\gamma)}{\cos\gamma}\sin(k\theta)\,\sigma_{сж}\exp(\chi);$$
$$P_y = P_Z ctg(k\theta); \qquad (1)$$

$$P_x = \frac{P_Z c \lambda b}{R \sin(k\theta)},$$

где P_x, P_y, P_z – проекции вектора усилий $\overline{P}$ на оси декартовой системы координат Ox, Oy, Oz соответственно, Н;

φ – угол заострения, град. (рад.);

γ – задний угол, град. (рад.);

D – диаметр дискового инструмента, м;

$\theta = \arccos\left(\frac{R-h}{R}\right)$, рад.;

$\rho = 0{,}0005$ м – острый дисковый инструмент;

ρ – радиус закругления лезвия, м;

t_p – шаг разрушения, м

b – ширина посадочного места, м;

$\lambda = \begin{cases} 0{,}5 - \text{блокированный режим разрушения;} \\ 1{,}0 - \text{свободный режим разрушения;} \end{cases}$

$c = \begin{cases} 1{,}0 - \text{блокированный режим разрушения;} \\ -1{,}0 - \text{свободный режим разрушения;} \end{cases}$

$k = 0{,}4 - 0{,}5$ – для хрупких пород; $k = 0{,}6 - 0{,}9$ – для вязких пород.

Для подтверждения достоверности полученных моделей расчета нагрузок в условиях свободного режима разрушения горных пород было проведено сопоставление результатов экспериментальных исследований [3] с результатами, полученными по формулам (1).

В качестве сравниваемых результатов были использованы экспериментальные данные средних нагрузок на дисковых инструментах, имеющих коническую форму.

Величина k, входящая в расчетные формулы (1), определилась на основе выражения

$$k = \frac{1}{\theta}\operatorname{arctg}\left(\frac{Z}{Y}\right),$$

где Z,Y – усилия перекатывания и подачи, определяемые из экспериментальных исследований, Н.

Усилия перекатывания и подачи, определяемые из соотношений (1), в таблице 1 обозначаются P_z и P_y, соответственно.

В таблице приведены экспериментальные данные и расчетные значения по разрушению песчано-цементных блоков коническими дисковыми инструментами в условиях свободного режима разрушения. В расчетных соотношениях (1) принималось, что задний угол конических дисковых инструментов $\gamma = 0$, а радиус закругления $\rho = 0{,}0005$ м.

Анализ сопоставления экспериментальных и расчётных данных показывал, что максимальное отклонение результатов моделирования нагруженности конических дисковых инструментов от экспериментальных данных составило 16%.

Таблица 1 – Результаты нагруженности конических дисковых инструментов в экспериментальных и теоретических исследованиях по разрушению песчано-цементных блоков

t_p, м	h, м	D, м	φ, град.	χ	k	Z, кН	Y, кН	P_z, кН	P_y, кН
$\sigma_{сж} = 28{,}0$ МПа, $\sigma_р = 4{,}0$ МПа									
0,06	0,04	0,28	25	0,0	0,5	11,9	30,7	11,89	29,12
0,07	0,02	0,28	40	0,0	0,411	7,8	34,5	7,95	35,18
0,07	0,03	0,24	35	0,0	0,709	18,5	32,9	18,07	32,12
0,07	0,04	0,32	30	0,0	0,415	12,5	40,4	12,66	40,92
$\sigma_{сж} = 25{,}0$ МПа, $\sigma_р = 3{,}8$ МПа									
0,07	0,02	0,28	40	0,0	0,869	12,0	25,0	14,59	28,71
0,07	0,04	0,32	30	0,152	0,706	24,0	42,9	21,73	38,85
0,08	0,02	0,32	45	0,0	0,855	16,7	36,2	16,93	36,72
0,08	0,03	0,26	40	0,152	0,661	21,7	44,0	21,02	42,81
0,08	0,04	0,20	35	0, 152	0,784	31,2	35,1	29,08	32,72

Заключение

Таким образом, разработанная математическая модель нагруженности конических дисковых инструментов позволяет определять усилия на оси конического дискового инструмента от геометрических, режимных параметров и прочностных характеристик горных пород.

Список литературы

1. *Нестеров, В.И.* Разрушение угольных и рудных пластов с твердыми включениями шнековыми рабочими органами / В.И. Нестеров, А.А. Хорешок и др. – Кемерово: Кузбас. гос. техн. ун-т, 2001. – 125 с.

2. *Бенерджи, П.* Метод граничных элементов в прикладных науках / П.Бенерджи, Р. Баттерфилд. –М.: Мир, 1984. – 494с.

3. *Соколова, Е.К.* Установление нагруженности дискового скалывающего инструмента шнековых исполнительных органов выемочных машин: Автореф. дис. канд. техн. наук. – Кемерово, 1984. – 16 с.

05.13.06

П.А. Пуеров, А.Н. Лыков

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
электротехнический факультет, кафедра микропроцессорных средств автоматизации,
Пермь, lykov45@yandex.ru

КОНТРОЛЛЕРЫ «КОНТАР» ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-4-172-175

Работа посвящена исследованию принципов построения систем автоматизации на базе программно-технического комплекса «КОНТАР». Проведен сравнительный анализ технических характеристик оборудования с позиции импортозамещения. Рассмотрена архитектура комплекса, его компоненты, а также особенности их реализации при автоматизации и диспетчеризации различных объектов.

Ключевые слова: *контроллер, интерфейс, технологический процесс, система управления, датчики, автоматизация.*

Введение. Повышение эффективности технологических процессов и решение проблем их постоянного усложнения, повышения требований к точности, необходимости экономии энергетических ресурсов, снижения человеческого фактора путем внедрения современных средств (приборов, устройств, комплексов) построения автоматизированных/ автоматических производств и расширения их функций является одним из главных направлений развития техники, технологий и создания конкурентоспособной продукции.

Сравнительный анализ контроллеров. Программно-технический комплекс (ПТК) «КОНТАР» включает в себя программируемые логические контроллеры и набор средств для их настройки и позволяет организовать распределенную автоматизированную систему мониторинга и диспетчерского управления разнородными инженерно-техническими объектами (оборудование зданий, тепловых пунктов, котельных и др.).

Примером логического контроллера может служить контроллер МС12, который предназначен для автоматизированного управления и мониторинга технологических процессов и может использоваться как автономно, так и в составе сети приборов «КОНТАР» в распределенной системы управления [1].

Рассмотрим основные аналоги контролера МС12: 1) ОВЕН ПЛК150 [2], который представляет собой моноблочный контроллер с дискретными и аналоговыми входами/выходами для автоматизации малых систем. 2) *Siemens SIMATIC S*7-300 [3], представляющий собой модульный программируемый контроллер для решения задач автоматизации низкого и среднего уровня сложности. 3) *Schneider Electric* ПЛК *Twido* [4].

В таблице 1 приведены результаты сравнения контроллеров, которые позволяют прийти к выводу, что все они приблизительно схожи по своим характеристикам. При этом отечественные контроллеры, а именно контроллеры МС12, во многом не уступают аналогам и с позиции импортозамещения являются наиболее интересными.

Контроллер МС12 является частью ПТК «КОНТАР» и обеспечивает решение актуальных для систем диспетчеризации функций: управления технологическими процессами (автоматическое и дистанционное); сбора информации от разнообразных источников, используемых на объекте (датчики температуры, давления, расхода, тепло-, водо- и электросчетчики и т.п.) и передачу ее на верхний уровень.

Контроллеры, которые выполняют совместную задачу распределенного управления, связаны между собой интерфейсом и общим протоколом обмена. Для реализации функций мониторинга состояния оборудования, отображения на экране, диспетчеризации, сигнализации и т.д. используется как локальная сеть, так и сеть Интернет.

Таблица 1 – Сравнительный анализ характеристик контроллеров

№ п/п	Показатель	Модель контроллера			
		МС12	ОВЕН ПЛК 150	S7-300	Twido
1	Условия эксплуатации, °С	От +5 до +50	От -20 до +70	От 0 до +40	От 0 до +55
2	Питание	~ и = 24 В	~ 220 В	~ 220 В и = 24 В	~ 220 В и =24 В
3	Дискретные/аналоговые входы	4/8	6/4	10/4	до 16/4
4	Дискретные/аналоговые выходы	8/4	4/2	6/2	до 16/4
5	Интерфейсы физического уровня и протоколы передачи данных	RS-485, RS-232, USB Ethernet, Modbus	RS-485, RS-232, USB Ethernet, Modbus	RS-485, RS-232, USB Ethernet, Modbus	RS-485, RS-232, USB Ethernet, Modbus
6	Объем постоянной памяти	90 КБ	4 МВ	128 КБ	64 КБ
7	Среда программирования	КОНГРАФ	CODESYS 2.3	STEP 7, Runtime	TwidoSoft
8	Стоимость, тыс. руб.	~30	~20	~30	~30

Архитектура и состав комплекса «КОНТАР». Программно-технический комплекс состоит из нескольких уровней (рис. 1) [5]:

1) Нулевой уровень (технологического оборудования) включает оборудование, допускающее автоматизацию, управление и контроль.

2) Первый уровень (первичных преобразователей и исполнительных механизмов) предназначен для измерения технологических параметров и преобразования их в электрические сигналы.

3) Второй уровень (уровень программно-логических контроллеров) предназначен для измерения и выдачи электрических сигналов согласно заложенному алгоритму функционирования и реализуется на базе контроллеров «КОНТАР», подключаемых непосредственно к оборудованию первого уровня.

4) Третий уровень (уровень диспетчерского управления) обеспечивает мониторинг и диспетчерское управление объектами и выполнена по клиент-серверной технологии (на локальном уровне) с использованием серверного диспетчерского компьютера (сервер КОНТАР АРМ) и клиентских автоматизированных рабочих станций диспетчера (клиент КОНТАР АРМ). Рабочие станции (АРМ) могут быть установлены на объекте или удалены на некоторое расстояние в отдельной диспетчерской или нескольких диспетчерских.

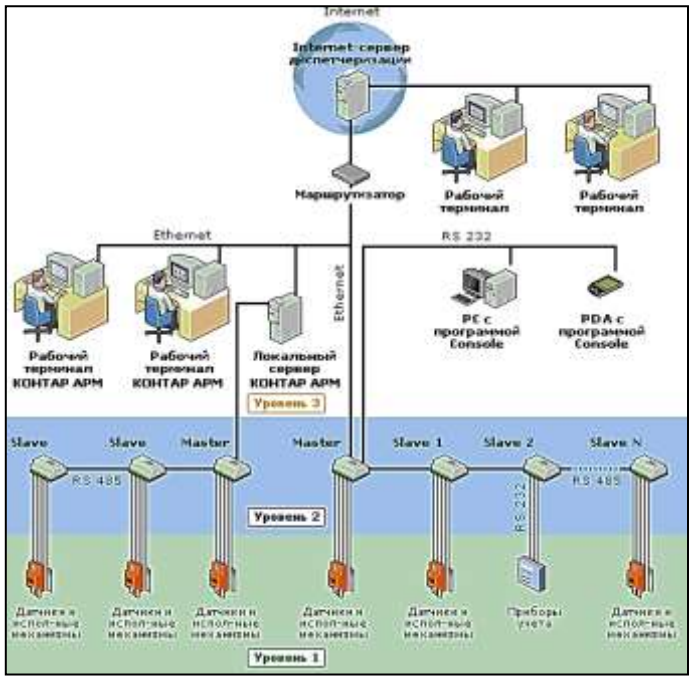


Рис. 1 – Уровни ПТК «КОНТАР»

Структурно ПТК «КОНТАР» состоит из двух частей:

1) Аппаратной части, к которой относятся: контроллеры измерительные MC12; контроллеры MC5; модули релейные MR8 и MR4; модули расширения ME4; выносной пульт управления MD8.3.

2) Программной части, в которую входят программы [5]:

– «КОНГРАФ» – инструментальная система, предназначенная для разработки программных алгоритмов для конкретных технологических проектов, и позволяющая на языке функциональных блоков реализовать свою задачу или выбрать наиболее близкое решение из предлагаемого набора типовых проектов (рис. 2).

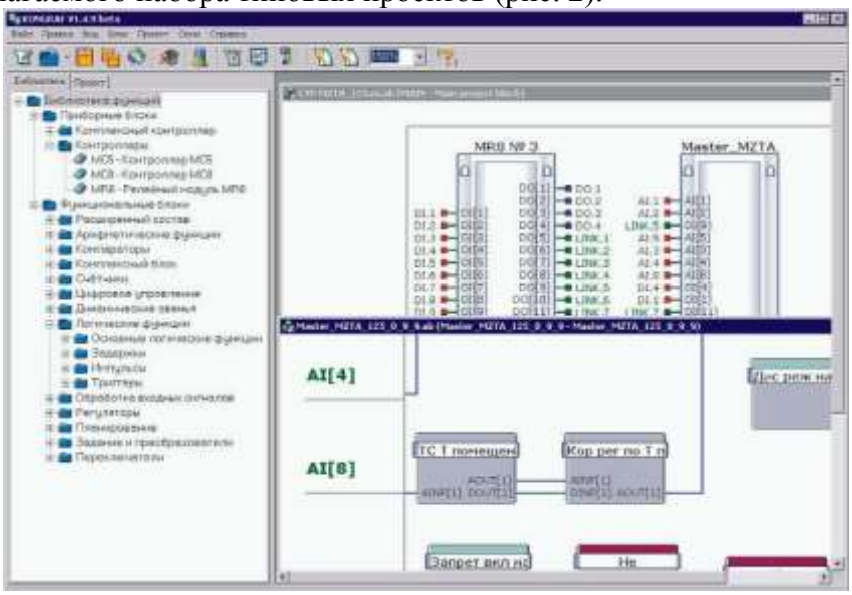


Рис. 2 – Окна программы «КОНГРАФ»

– «КОНСОЛЬ» – программный инструмент для наладки, мониторинга и управления контроллером или сетью контроллеров с использованием коммуникационных интерфейсов (рис. 3). Существует в двух версиях: для работы на ПК и для работы на карманных компьютерах (КПК, *PocketPC*).

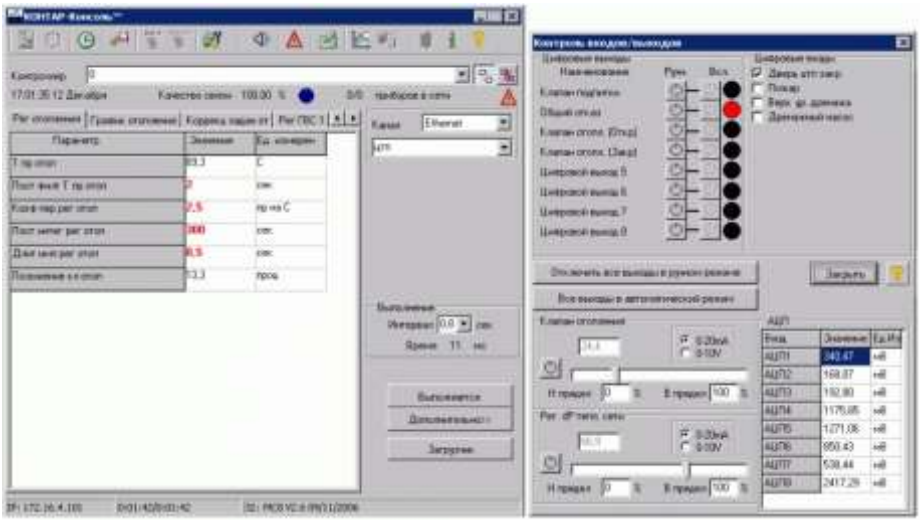


Рис. 3 – Интерфейс программы «КОНСОЛЬ»

– «КОНТАР АРМ» – программная среда для создания АРМ диспетчера и визуализации технологического процесса (рис. 4). Она идеально подходит для диспетчеризации крупных объектов, таких как жилые комплексы, административные и офисные здания и т.д.

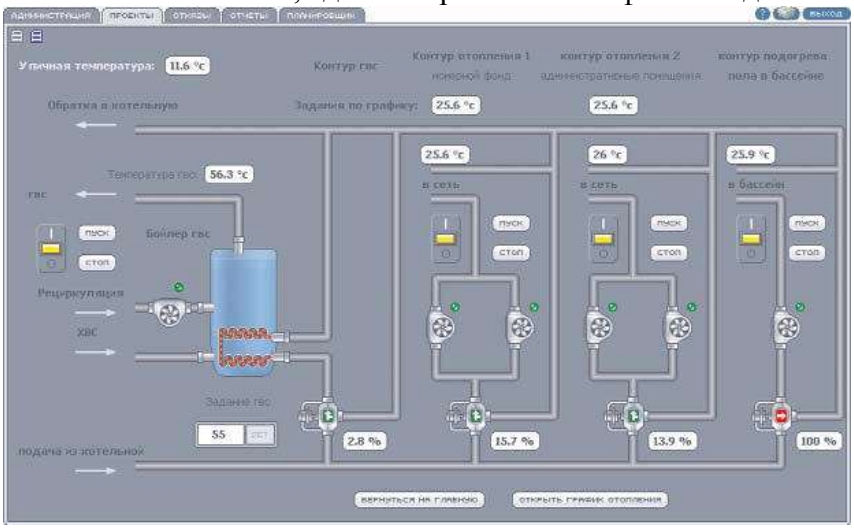


Рис. 4 – Пример интерфейса программа «КОНТАР АРМ»

Заключение. Решения, входящие в состав ПТК «КОНТАР», имеют хорошую программно-аппаратную базу и обширный функционал, что позволяет использовать их при построении эффективных систем диспетчерского управления.

Список литературы

1. Контроллер MC12 [Электронный ресурс]. –
URL: http://www.mzta.ru//produkcziya/vypuskaemaya-produktsiya/24-programmno-tekhnicheskij-kompleks-kontar/98-mc8-mc12 (дата обращения: 10.05.2017).
2. Контроллер ОВЕН ПЛК150 [Электронный ресурс]. –
URL: http://www.owen.ru/catalog/programmiruemij_logicheskij_kontroller_oven_plk_150
(дата обращения: 10.05.2017).
3. Контроллер Siemens SIMATIC S7-300[Электронный ресурс]. –
URL: http://dfpd.siemens.ru/products/automation/simatic/SIMATIC_S7/S7-300/–
(дата обращения: 10.05.2017).
4. Контроллер Schneider Electric ПЛК [Электронный ресурс]. –
URL: http://www.schneider-electric.ru/ru/product-range/533-twido/ (дата обращения: 10.05.2017).
5. ПТК «КОНТАР» [Электронный ресурс]. –
URL: http://www.tptd.ru/kontar.htm(дата обращения: 10.05.2017).

05.13.00

А.А. Путилова, Т.В. Костыгова

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Электротехнический факультет,
Кафедра Конструирование и технологии в электротехнике,
Пермь, ktei@pstu.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЭМАЛИРОВАНИЯ И АНАЛИЗ РАБОТЫ ЭМАЛЬАГРЕГАТА MATE SV 70-224/2 ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ В ЭМАЛЬПЕЧИ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-4-176-178

В данной работе были проведены вычисления, для определения оптимальной скорости эмальпечи, с учётом температуры и скорости воздуха внутри неё. Также была построена 2D модель, которая наглядно показывает распределение температуры в эмальпечи.

Ключевые слова: *температура, скорость, эмальпечь, катализатор.*

На сегодняшний день производство проводов с эмалевой изоляцией возросло. Данный вид проводов производятся путём эмалирование проволоки. Агрегат MATE SV70-224/2, который используется в ходе исследования, является вертикальным и предназначен для эмалирования круглых медных проводов диаметром от 0,70 мм до 2,24 мм.

Одним из основных этапов эмалирования, является процесс термообработки покрытия эмаль лака в эмальпечи агрегата. Печь имеет две зоны: в первой зоне происходит испарение растворителя за счёт высокой температуры, вторая зона - является конечным пунктом, в ней происходит процесс образования плёнки.

Необходимая скорость эмалирования зависит от температуры и скорости воздуха в эмальпечи. Были проведены расчеты, в которых учитывались изменения скорости воздушного потока и температурной кривой внутри печи, и их влияние на процесс плёнкообразования. Так же было произведено моделирование эмальпечи с использованием программных сред КОМПАС-3D V15, ICEM CFD 17.0 и ANSYS Fluent 17.0.

Математическая модель процесса описывается следующими уравнениями состояния:

1. Уравнение энергии $c \cdot \rho \cdot v_i \cdot \frac{\partial T}{\partial x_i} = \lambda_{\triangle} T + q_v$;
2. Уравнение движения $\rho \cdot v_j \cdot \frac{\partial v_i}{\partial x_j} = \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{i,j}}{dx_i}$;
3. Уравнение неразрывности $-\rho \cdot \frac{\partial v_i}{\partial x_i} = v_i \frac{\partial \rho}{\partial x_i}$

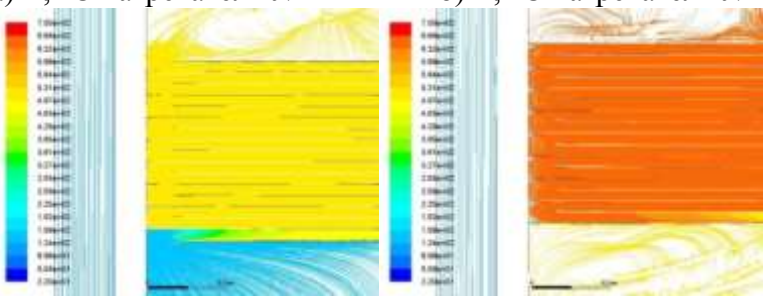
где xi – декартовые координаты; υi –компоненты вектора скорости (м/с); ρ, c, λ – плотность, теплоемкость, коэффициент теплопроводности (кг/м3, Дж/(кг·°С), Вт/(м·°С)); T – температура (°С); qv – мощность внутренних источников тепла (Вт/м3); $\tau i,j$ – компоненты девиаторного тензора напряжений.

Граничные условия: на входе и на выходе задаётся температура и скорость воздушного потока; на катализаторе, 3-х устройствах нагрева и на устройстве предварительного нагрева задана температура; на вентиляторе установлена мощность всасываемого воздуха.

Были сделаны следующие допущения: процесс стационарный; теплофизические параметры постоянны; гравитационные силы не учитываются; геометрия упрощена.

В результате проведенных исследований была разработана модель температурного поля эмальпечи. Результаты представлены на рисунке 1. Исходя из полученных результатов видно, что температура воздуха увеличиваться, после прохождения нагревателей и катализатора, которые, в данной геометрии, представлены в змеевидной форме.

а) Т, °С нагревателя №1 б) Т, °С нагревателя №2



в) Т, °С катализатора г) Т, °С нагревателя №3

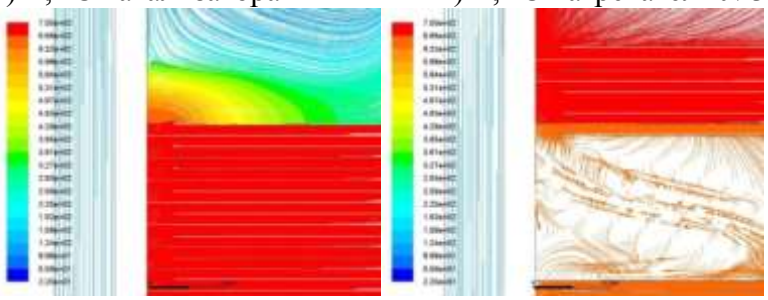


Рис. 1. Модель температурного поля эмальпечи

Для выбора оптимально-приемлемой скорости эмалирования, был проведён анализ зависимости скорости эмалирования от изменения температуры внутри печи. Изменение температурного поля по высоте эмальпечи MATE SV 70-224/2 изображёно на рисунке 2.

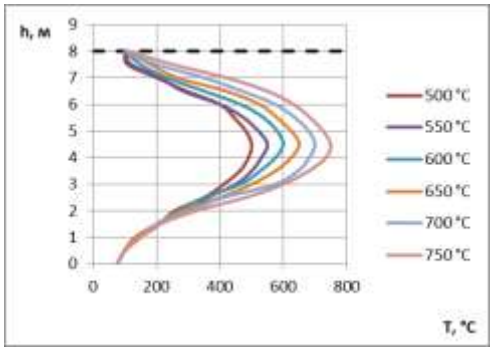


Рис. 2. Распределение температуры термопары при изменении температуры на катализаторе от 500 ◦С до 750 ◦С

Изменение температуры и скорости, согласна расчётам, представлена на рисунке 3 а). По результатам можно сделать вывод, что оптимальная скорость эмалирования увеличивается с увеличением температуры катализатора. График анализа представлен на рисунке 3 б).

Т катализ,◦С	**V, м/мин**
500	Vmax=62; Vmin=42; Vопт=59
550	Vmax=73; Vmin=50; Vопт=69
600	Vmax=89; Vmin=62; Vопт=85
650	Vmax=110; Vmin=78; Vопт=104
700	Vmax=136; Vmin=98; Vопт=129
750	Vmax=165; Vmin=120; Vопт=157

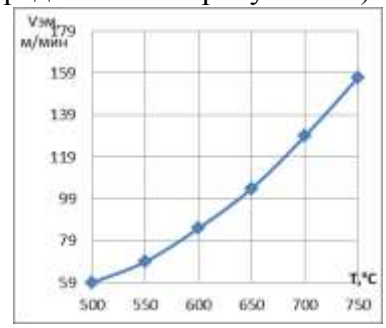


Рис. 3. а) Зависимость скорости эмалирования от температуры катализатора; б) Зависимость скорости эмалирования от температуры катализатора

Для определения максимальной, минимальной и оптимальной скорости эмалирования необходимо вычислить зависимость средней степени плёнкообразования ($A_{ср}$), степени пленкообразования по последнему проходу (A_n) и средней степени деструкции по слоям ($B_{ср}$) от скорости эмалирования. Необходимо учитывать, что для получения качественной изоляции должны выполняться следующие условия: $A_{ср} \geq 0,7$, $A_n \geq 0,5$, а $B_{ср} \leq 0,15$. Результаты расчётов и график зависимости $A_{ср}$, A_n, $B_{ср}$ от $V_{эмалир}$ представлен на рисунке 4.

Т катализ, С	Vэм, м/мин	Acp	Ak	Bcp
700	94	1	1	0,2
	98	1	1	0,15
	102	1	1	0,11
	106	1	0,99	0,08
	110	1	0,98	0,06
	114	1	0,95	0,04
	118	0,99	0,89	0,03
	122	0,98	0,82	0,02
	126	0,97	0,74	0,02
	130	0,95	0,65	0,01
	134	0,93	0,56	0,01
	138	0,9	0,48	0,01
	142	0,87	0,41	0,01
	146	0,82	0,34	0,01
	150	0,77	0,29	0
	154	0,71	0,24	0
	158	0,65	0,21	0
Vmax=136 м/мин, Vmin=98 м/мин, Vопт=129 м/мин				

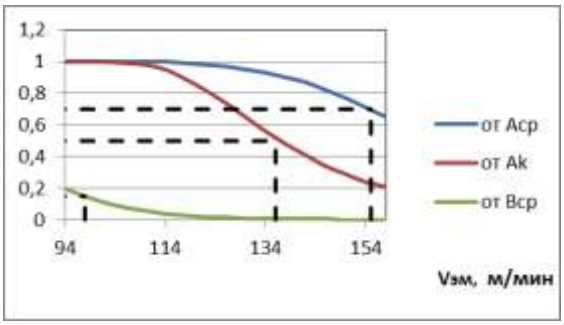


Рис.4. а) Результаты расчётов; б) график зависимости $A_{ср}$, A_n, $B_{ср}$ от $V_{эмалир.}$

Проведены расчёты, которые показывали влияние скорости воздушного потока в эмальпечи на скорость эмалирования. Изначально скорость воздуха на высоте 1 метр была взята равной 1,3 м/с. Скорость воздуха изменялась в диапазоне от 0,5 м/с до 3,0 м/с. Результаты расчёта представлены на рисунке 5 а). Так же составлены графики зависимости $V_{возд}$ от $V_{эмалир}$. График зависимости в диапазоне от 0,5 м/с до 3,0 м/с представлен на рисунок 5 б).

V возд, м/с	Vэмалир, м/мин
0,50	106
0,75	115
1,0	122
1,25	128
1,30	129
1,50	134
1,75	140
2,0	144
2,25	149
2,50	154
2,75	159
3	162

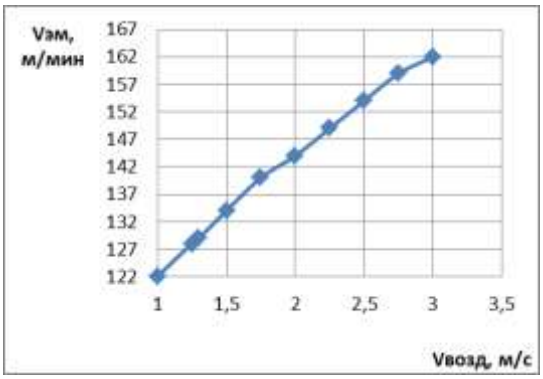


Рис. 5. а) Изменение скорости эмалирования от скорости воздуха;
б) Зависимость $V_{эмалир}$ от $V_{возд}$

С увеличением температуры на катализаторе скорость эмалирования возрастает, так как температуры в первой и второй зонах становятся также выше, и быстрее происходят процессы удаления растворителя и плёнкообразования. С увеличением скорости воздушного потока тепло интенсивней переносится по зонам и температура в эмальпечи возрастает, поэтому скорость эмалирования также растёт.

Список литературы

1. *Костыгова Т.В., Курочкина Ю.П.* «Расчёт технологического режима эмалирования и оценка качества изоляции по температурной кривой tg δ»// Вестник ПНИПУ. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2014. - № 1(9). – С. 93-103.
2. *Костыгова Т.В.* «Технология производства проводов». – Пермь: Изд-во Перм. Гос. Ун-та, 2010. – 69с

05.13.06

А.В. Ромодин, Д.Ю. Лейзгольд, М.С. Борисов

ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», электротехнический факультет, кафедра микропроцессорных средств автоматизации, Пермь, romodin@mail.ru

БЕЗЫТЕРАЦИОННЫЙ АЛГОРИТМ РАСЧЕТА РЕЖИМА ЭЭС ПРИ ЗАДАННОЙ НАГРУЗКЕ И НАПРЯЖЕНИИ ПИТАЮЩЕГО УЗЛА

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-4-179-181

Авторами статьи предложен безытерационный алгоритм расчета напряжения в узле нагрузке при заданной мощности нагрузки и напряжении питания, который позволяет свести данный тип задач к расчету по конечным параметрам. Предложенный алгоритм позволяет сократить расчет в среднем на 9-10 итераций с минимальной погрешностью.

Ключевые слова: *установившийся режим, безытерационный расчет.*

Расчет установившегося режима электроэнергетической сети (ЭЭС) в больших объемах требуется при оценке и оптимизации параметров ЭЭС с целью минимизации потерь мощности или напряжения [1, 2]; при оценке перетоков мощности по системообразующим связям и при оценке экономичности режима [3]. При решении задач оперативного управления режимами ЭЭС высокие требования предъявляются к скорости расчета и точности вычислений параметров установившегося режима [4].

Расчет установившегося режима линий электропередачи при заданном значении нагрузки и напряжения источника питания, выполненный итерационными методами [5], требуется на каждом шаге оптимизации. Поэтому актуальной задачей является разработка методики с минимальным количеством итераций.

Целью исследования является повышение скорости расчета режима узла электроэнергетической системы с несколькими источниками питания для использования результатов при оптимизации режимных параметров.

Нагрузка представлена постоянным значением активной и реактивной мощности

В работах [5, 6, 7] предлагается произвести расчет тока при номинальном напряжении на нагрузке, после чего по известному напряжению источника и рассчитанному току ведется пересчет напряжения на нагрузке в несколько итераций.

Для решения этой задачи без использования итерационного подхода необходимо вывести зависимость напряжения на нагрузке от начальных параметров режима сети. Заданными параметрами в данной задаче являются угол φ_i и ЭДС E_i *i*-го источника питания; сопротивление *i*-ой линии Z_i; мощность нагрузки $S_{\text{н}}$.

Система уравнений в комплексном виде для эквивалентированного участка сети с несколькими источниками питания:

$$\begin{cases} \overset{*}{S}_{\text{н}} = \sqrt{3}\dot{I}_{\text{эк}}\overset{*}{U}_0 \\ \dot{U}_0 = \dot{E}_{\text{эк}} - \sqrt{3}\dot{I}_{\text{эк}}\dot{Z}_{\text{эк}} \end{cases} \quad (1)$$

Решением системы (1) при определении модуля напряжения в тригонометрической форме согласно правилам умножения комплексных чисел будет:

$$\begin{aligned} &U_0^2 + Z_{\text{эк}}S_{\text{н}}\cos(\varphi_{Z_{\text{эк}}} - \varphi_{S_{\text{н}}}) - E_{\text{эк}}U_0\cos(\varphi_{E_{\text{эк}}} - \varphi_{U_0}) + \\ &+ j\left[Z_{\text{эк}}S_{\text{н}}\sin(\varphi_{Z_{\text{эк}}} - \varphi_{S_{\text{н}}}) - E_{\text{эк}}U_0\sin(\varphi_{E_{\text{эк}}} - \varphi_{U_0})\right] = 0, \end{aligned} \quad (2)$$

где $\varphi_{Z_{\text{эк}}}$, $\varphi_{S_{\text{н}}}$, $\varphi_{E_{\text{эк}}}$, φ_{U_0} – аргументы комплексных значений эквивалентного сопротивления, мощности нагрузки, эквивалентной ЭДС и напряжения в узле нагрузки.

Комплексное число равно нулю, если равна нулю его мнимая и действительная часть, следовательно:

$$U_0^2 + Z_{эк} S_н \cos(\varphi_{Z_{эк}} - \varphi_{S_н}) - E_{эк} U_0 \cos(\varphi_{E_{эк}} - \varphi_{U_0}) = 0. \quad (3)$$

Уравнение (3) является первым уравнением системы. Для нахождения решение системы (1) в модульной форме и возведем его правую и левую часть во вторую степень:

$$E_{эк}^2 - 2E_{эк} U_0 \cos(\varphi_{E_{эк}} - \varphi_{U_0}) + U_0^2 = \frac{Z_{эк}^2 S_н^2}{U_0^2}. \quad (4)$$

Выполнив подстановку (4) в (3), можно получить биквадратное уравнение относительно неизвестного модуля напряжения U_0:

$$U_0^4 + U_0^2 \left[2Z_{эк} S_н \cos(\varphi_{Z_{эк}} - \varphi_{S_н}) - E_{эк}^2 \right] + Z_{эк}^2 S_н^2 = 0. \quad (5)$$

Модуль напряжения является корнем уравнения (5):

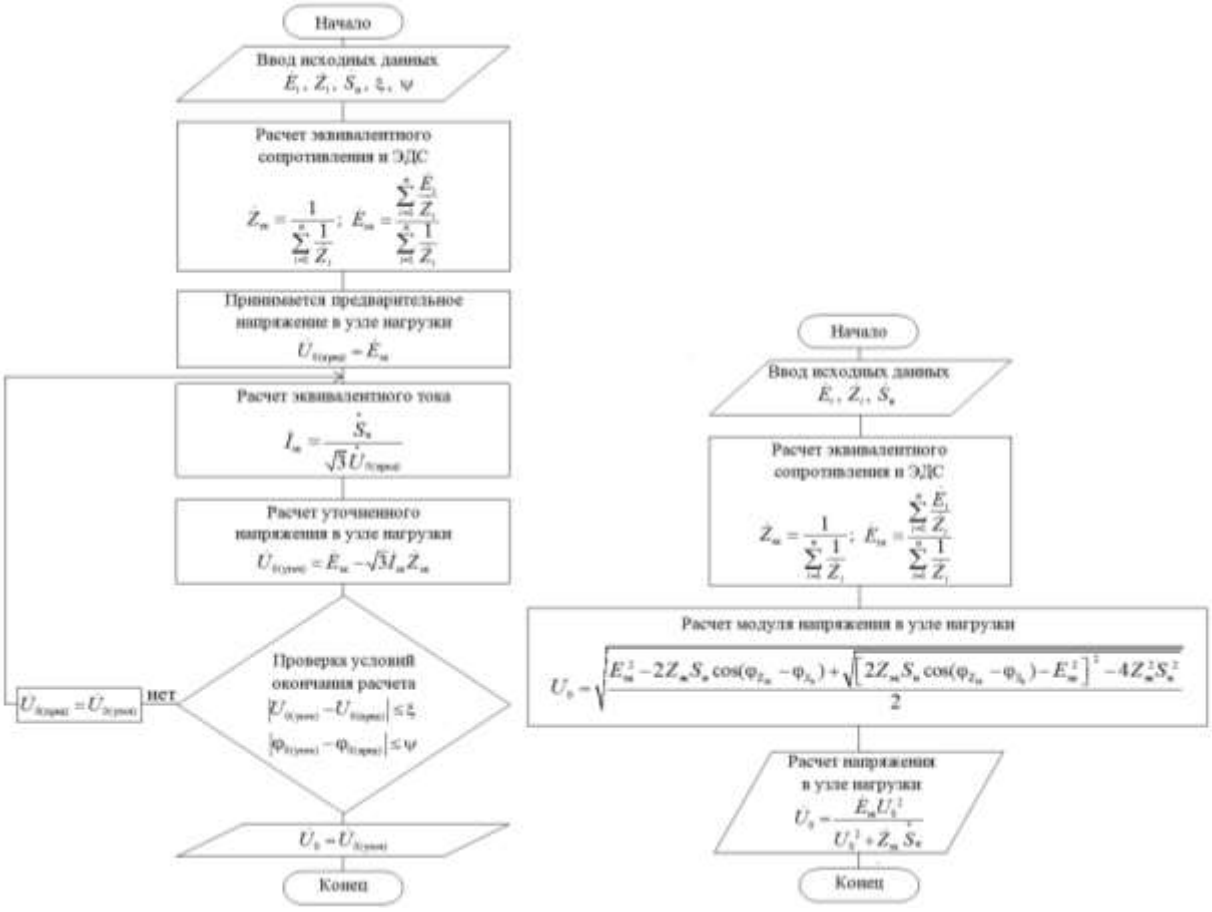
$$U_0 = \sqrt{\frac{E_{эк}^2 - 2Z_{эк} S_н \cos(\varphi_{Z_{эк}} - \varphi_{S_н}) + \sqrt{\left[2Z_{эк} S_н \cos(\varphi_{Z_{эк}} - \varphi_{S_н}) - E_{эк}^2 \right]^2 - 4Z_{эк}^2 S_н^2}}{2}}. \quad (6)$$

Для нахождения аргумента напряжения нагрузки необходимо разрешить систему (1) в комплексной форме относительно $e^{j\varphi_{U_0}}$:

$$\dot{U}_0 = \frac{\dot{E}_{эк} U_0^2}{U_0^2 + \dot{Z}_{эк} \overset{*}{S}_н}. \quad (7)$$

Таким образом, зная напряжение в конце рассматриваемого участка и мощность нагрузки, задачу расчета режима разомкнутой сети при заданных мощностях нагрузки и напряжении источника питания можно последовательно решать, аналогично задаче расчета по параметрам конца.

Разработанный алгоритм, представленный на рисунке 1, имеет меньшее количество шагов, исключает цикличность расчета и проблемы со сходимостью присущие итерационному подходу.



а) б)

Рис. 1 – Алгоритмы расчета напряжения в узле нагрузки при заданной мощности нагрузки и напряжении источника питания: а – итерационный алгоритм; б – безытерационный алгоритм

Оценка адекватности и точности предлагаемого метода произведена на примере эквивалента сети с несколькими источниками питания и постоянной ЭДС $\dot{E}_{эк}$= 220 кВ.

Результаты расчета погрешности определения напряжения в узле нагрузки представлены в таблице. В целом, изменение погрешности незначительно, что свидетельствует о возможности использования предложенного алгоритма для любых соотношений активных и реактивных сопротивлений линий и нагрузок. Для достижения аналогичной точности итерационный метод потребует 9-10 итераций.

Приведенный алгоритм безытерационного расчета напряжения узла нагрузки позволяет привести данный тип задач, когда задана нагрузка и напряжение источника, к задаче расчета по данным конца, при этом расчет ведется за одну итерацию, сохраняя высокую точность.

Таблица – Результат расчета погрешности безытерационного алгоритма

$\dot{Z}$, Ом / $\dot{S}_н$, МВА	1+j5		5+j1	
	$\delta_{(U_0)}$, %	$\delta_{(\varphi)}$, %	$\delta_{(U_0)}$, %	$\delta_{(\varphi)}$, %
100+j200	$3{,}6\cdot10^{-13}$	$2{,}6\cdot10^{-15}$	$3{,}1\cdot10^{-13}$	0
200+j100	$3{,}1\cdot10^{-13}$	0	$3{,}6\cdot10^{-13}$	$2{,}6\cdot10^{-15}$

Заключение

Предлагаемый безытерационный метод имеет очень широкую сферу применения, за счет того, что он прост с точки зрения реализации на ЭВМ, он позволяет произвести явное задание целевой функции в тех задачах оптимизации, где ранее приходилось тратить большое количество времени и вычислительных мощностей на реализацию одного шага оптимизационного метода.

Список литературы

1. *Ромодин А. В., Лейзгольд К. А., Трушников К. П.* Оптимизация выбора регулируемых компенсирующих установок для ОАО УНИИКМ // Вестник ПНИПУ. - 2014. - № 10. - с. 62-69.

2. *Петроченков А. Б., Ромодин А. В.* Разработка подходов к построению комплекса Энергооптимизатор // Электро. Электротехника, электроэнергетика, электротехническая промышленность. - 2013. - № 4. - с. 20-25.

3. *Манов Н.А., Чукреев Ю.Я., Успенский М.И.* Новые информационные технологии в задачах оперативного управления электроэнергетическими системами – Екатеринбург: УрО РАН, 2002. – 205 с.

4. *Лейзгольд Д. Ю.* Методика определения параметров установившихся режимов электроэнергетической системы Пермского края // Труды VIII Международной (XIX Всероссийской) конференции по автоматизированному электроприводу АЭП-2014: [г. Саранск], 7-9 окт. 2014 г. В 2 т. ода. Т. 2. / М-во образования и науки Рос. Федерации, Акад. электротехн. наук Рос. Федерации, Ассоц. инженеров по электроприводу, Нац. исслед. Мордов. гос. ун-т им. Н. П. Огарева, Нац. исслед. ун-т МЭИ. - Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2014. - с. 449-452.

5. *Идельчик В. И.* Электрические системы и сети: Учебник для вузов – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 592 с.

6. *Герасимов Л. Н.* Электротехнические расчеты сетей и систем электроснабжения: метод. указ. к практическим занятиям - Иркутск: ИрГУПС, 2015. – 44 с.

7. *Костин В. Н., Распопов Е. В., Родченко Е. А.* Передача и распределение электроэнергии: Учеб. Пособие - СПб.: СЗТУ, 2003 – 147 с.

05.13.00

Е.П. Сеногноева, А.А. Бачурин

Пермский Национальный Исследовательский Политехнический Университет,
электротехнический факультет, кафедра микропроцессорных средств автоматизации,
Пермь, kanty-vishera94@mail.ru, a.bachurin@pstu.ru

РАСЧЕТ И ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ УЧАСТКА СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ НЕФТЕДОБЫВАЮЩЕЙ ОТРАСЛИ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-4-182-184

Рассмотрена методика расчета надежности системы электроснабжения. Изложен матричный метод расчета сложных систем. Представлены результаты расчетов на примере участка системы электроснабжения нефтедобычи и приведена оценка стоимости простоя оборудования в случае отказа.

Ключевые слова: *система электроснабжения, надежность, методика расчета, матричный метод, стоимость простоя.*

В настоящее время инженерные системы и системы электроснабжения в том числе, перешли на техническое обслуживание по фактическому состоянию. При этом происходит снижение эксплуатационных расходов при сохранении надежности систем. Для оценки значения надежности применяется расчет, в ходе которого определяются наиболее слабые места в системе, и производится оценка масштаба имеющихся проблем. Согласно классической теории [1] надежность системы определяется параметрами, такие как поток отказов, время восстановления, средняя наработка до отказа, которые зависят от типа элемента системы электроснабжения. На рисунке 1. приведена классификация типовых элементов систем электроснабжения с учетом различия показателей надежности.

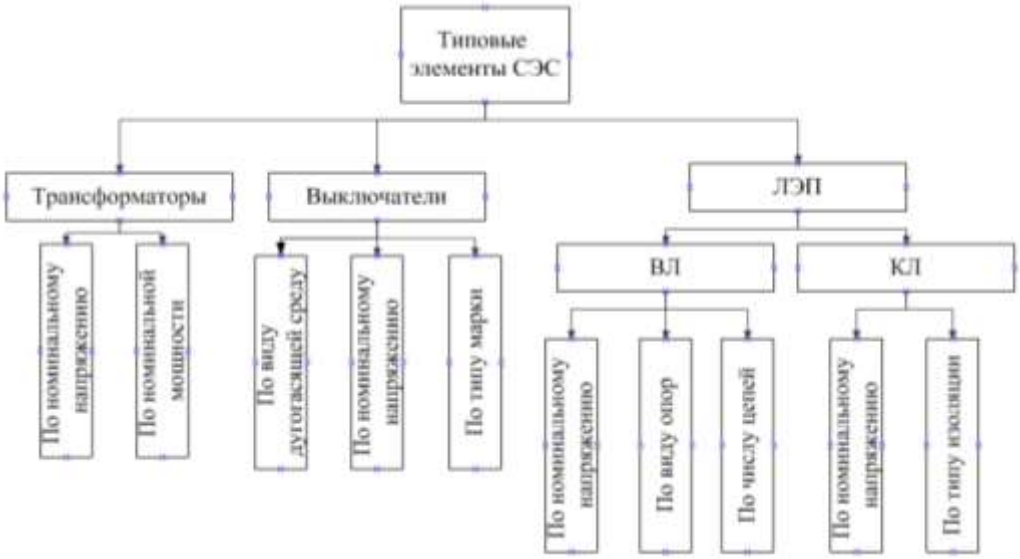


Рисунок 1- Классификация типовых элементов системы электроснабжения

Надежность системы определяется такими основными параметрами как [2]:

Поток отказа (ω) – предел отношения вероятности отказа объекта на интервале времени непосредственно после данного момента времени к продолжительности этого интервала при его неограниченном уменьшении [1/год].

Среднее время восстановления ($T_в$) – средняя продолжительность восстановления работоспособного состояние объекта [ч].

Среднее время наработки на отказ ($T_{ср}$) – отношение суммарной наработки восстанавливаемого объекта к математическому ожиданию числа его отказа в течение этой наработки [ч].

Любая сложная система электроснабжения может быть представлена в виде комбинации параллельных и последовательных соединений входящих в нее элементов [3]. Формулы для расчета систем приведены в таблице 1.

Для автоматизации процесса расчета сложных систем и более точной оценки надежности применяется матричный метод [4].

Таблица 1 - Расчет параметров надежности для последовательного и параллельного соединений элементов

Последовательное соединение	**Параллельное соединение**
$\omega_c = \sum_{i=1}^{n} \omega_i$	$\omega_c = (\prod_{i=1}^{n} \omega_i \cdot Tcp_i) \cdot (\sum_{i=1}^{n} Tcp_i^{-1})$
$Tcp_c = \omega_c^{-1}$	$Tcp_c = (\sum_{i=1}^{n} Tcp_i^{-1})^{-1}$
$T_{B_c} = \omega_c^{-1} \sum_{i=1}^{n} \omega_i T_{Bi}$	$T_{B_c} = (\sum_{i=1}^{n} Tв_i^{-1})^{-1}$

Суть матричного метода заключается в следующем:

1. Рассчитывается структурная надежность с использованием классической формулы вероятности;

$$R_{str} = \frac{M}{N} \quad (1)$$

где N – число возможных состояний системы, M – количество рабочих состояний системы.

2. Вычисляется число возможных состояний системы;

$$N = S^n \quad (2)$$

где n – количество элементов в системе, S – количество состояний каждого элемента.

3. Создается диаграмма и матрица состояний, а так же определяется состояние системы в целом.

Предлагается использование матричного метода в качестве базового инструмента при расчете показателей надежности больших систем электроснабжения. Рассмотрим пример участка системы электроснабжения нефтедобычи (рисунок 2).

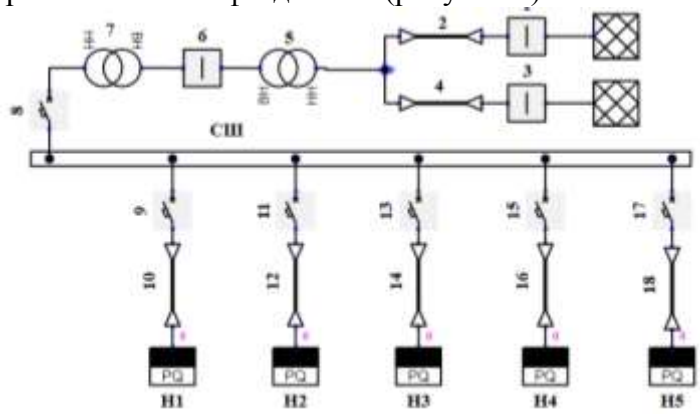


Рисунок 2. Участок системы электроснабжения нефтедобычи

Исходные показатели параметров надежности, взятые из [1] сведены в таблицу 2.

Таблица 2 – Параметры элементов системы электроснабжения нефтедобычи

Тип	№ элемента	$U_{ном}$, кВ	$P_{ном}$, МВА	*l*, км	ω, 1/год	$T_в$, год	$T_{ср}$, год
Выключатель масляный	1,3	10	-	-	0,009	0,0023	111,11
Выключатель элегазовый	6	20	-	-	0,022	0,0013	45,45
Трансформатор масляный	5	6	4	-	0,008	0,0137	125
Трансформатор сухой	7	20	6,3				

Автоматический выключатель	8,9,11,13,15,17	0,4	-	-	0,05	0,0005	20
Кабельная линия	2,4	6	-	0,045	0,0034	0,0018	296,3
	10,12	0,4	-	0,03	0,003	0,0027	333,3
	14,16	0,4	-	0,05	0,005	0,0027	200
	18	0,4	-	0,08	0,008	0,0027	125

Для расчета надежности системы был применен матричный метод.

Проведем расчет часа простоя скважины, для дальнейшего расчета надежности электроснабжения нагрузок предприятия по нефтедобычи в таблице 3.

Таблица 3 – Расчет часа простоя скважины

№ Скважины	Дебит по нефти, баррель/сутки	Цена нефти, USD	Стоимость часа простоя, USD
Н1 ; Н2	157 ; 100	49,90	326 ; 208
Н3 ; Н4	90 ; 162		187 ; 337
Н5	80		166

Для оценки надежности электроснабжения нагрузок предприятия по нефтедобычи рассчитана стоимость простоя в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты расчета надежности электроснабжения нагрузок предприятия нефтедобычи

Отказ системы электроснабжения элемента	$T_в$, часов за год	Стоимость часа простоя, USD	Стоимость простоя за год, USD
Н1 ; Н2	18,68	326 ; 208	6098 ; 3884
Н3 ; Н4	18,76	187 ; 337	3510 ; 6317
Н5	18,86	166	3138
СШ	26,84	1225	32870

В итоге мы получили стоимость простоя для каждого отказа системы электроснабжения. По стоимости простоя за год наиболее затратный это отказ системы электроснабжения системы шин (СШ) поэтому следуют определить, прежде всего, на замену коммутационных аппаратов, а в случае отказа системы электроснабжения элемента нагрузки Н1,следует обратить на внимание на замену коммутационных аппаратов и кабельных линий.

В заключение хотелось бы сказать, что для расчета надежности участка системы электроснабжения был использован матричный метод, и расчет стоимости простоя были автоматизированы с помощью ЭВМ и могут, внедрены на предприятие. С помощью рассчитанных показателей после определяются наиболее слабые места в системе, которые требуют замены первую очередь. Так же наиболее слабые места это не только коммутационные аппараты и кабельные линии, а так же муфты, болтовые соединения, контакты, которые не были учтены в данном расчете.

Список литературы

1. *Гук. Ю.Б.* Теория надежности в энергетике. Учебное пособие для вузов. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отделение, 1990. – 208 с.

2. ГОСТ 27.002-89 Надежность в технике

3. *Анищенко. В.А.*Основы надежности систем электроснабжения: пособие для студентов специальности 1-43 01 03 «Электроснабжение» специализации 1-43 01 03 01 «Электроснабжение промышленных предприятий» / В.А. Анищенко, И.В. Колосова. - Мн.: БИТУ, 2007. - 151 с.

4. *Kravets, V.V. and Kravets, Vl.V.* Matrix Method for Determining Structural Reliability of the System and Significance of Its Elements in Terms of Reliability / / Open Journal of Applied Sciences. – 2015. - № 5. – С.669-677

05.13.00

Д.В. Соколов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
физико-технический институт, кафедра электроники и автоматики физических установок,
Томск, sokolov092012@mail.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЫПАРКИ УРАН-ПЛУТОНИЕВОЙ ЛИГАТУРЫ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-4-185-188

В работе представлена модель процесса выпарки с использованием ядерно-безопасного выпарного аппарата (ВА), с выносной электрической греющей камерой. Модель позволяет разработать систему управления ВА и провести предварительные испытания с использованием программных средств.

Ключевые слова: *компьютерное моделирование, выпарной аппарат система управления.*

В данной работе рассматривается выпарной аппарат, предназначенный для выпаривания реэкстракта лигатуры до заданной плотности и для выпарки рафинатов с заданной кратностью. Конструкция данного ВА построена по однокорпусной схеме с выносной греющей камерой (рис. 1). Как правило, при построении аналитических моделей химических аппаратов, математическое описание сводится к составлению уравнений материального и теплового балансов системы, базирующихся на фундаментальных законах природы – законах сохранения массы и энергии [1-2].

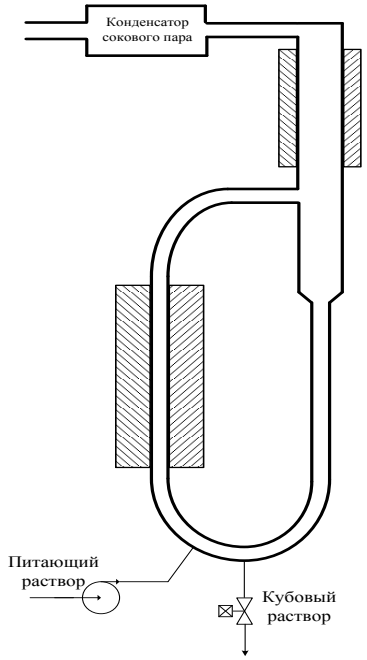


Рис. 1. Схема конструкции ВА

На рисунке 2 представлен состав входных и основных выходных переменных математической модели аппарата выпаривания в соответствие с установленными требованиями.

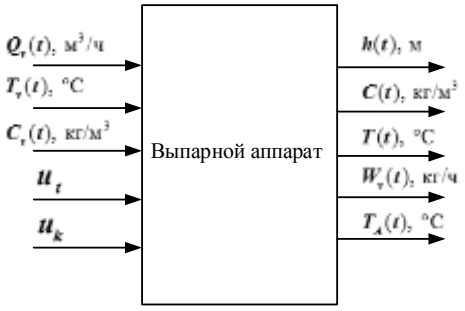


Рис. 2. Состав основных переменных компьютерной модели ВА

$Q_V(t)$ – объемный расхода исходного раствора урана, м^3/ч; $T_V(t)$ – температура исходного раствора урана, °С; $C_V(t)$ – концентрация исходного раствора урана, кг/м^3; u_t – дискретное управление теном, вкл/выкл; u_k – дискретное управление клапаном подачи исходного раствора, вкл/выкл; $T_A(t)$ – температура греющей рубашки, °С; $h(t)$ – уровень раствора в аппарате, м; $C(t)$ – концентрация упаренного раствора урана, кг/м^3; $T(t)$ – температура раствора в аппарате, °С; $W_v(t)$ – расход вторичного пара, кг/ч

В качестве эталонной модели была взята работа [3], в которой описывается похожий выпарной аппарат, исключая геометрию, способ нагрева исходного раствора, способ подачи и опорожнения.

В результате, элементные и тепловые потоки в эталонном аппарате описывались следующей системой уравнений:

$$\begin{cases} \dfrac{dh}{dt} = \dfrac{1}{A}\cdot\left(Q_f + Q_r - Q_p - \dfrac{W_v}{\rho_w}\right) \\ \dfrac{d\rho}{dt} = \dfrac{1}{Ah}\left(W_v\left(\dfrac{\rho}{\rho_w}-1\right) - Q_f\rho_f\left(\dfrac{\rho}{\rho_f}-1\right)\right) \\ \dfrac{dT}{dt} = \dfrac{\left[W_s\left(i_s - i_c\right) + Q_f\rho_f\left(i_f - i\right) + Q_r\rho_r\left(i_r - i\right) + W_v\left(i_v - i\right) - L\left(T - T_{ar}\right)\right]}{\rho_f c_f Ah} \end{cases}, \quad (1)$$

где A – площадь поперечного сечения ВА, м^2; c_f – удельная теплоемкость входного раствора, кДж/(°С·кг); ρ_w – плотность воды, кг/м^3, а массовый расход вторичного пара W_v определяется по следующему алгебраическому выражению:

$$W_v = \frac{Q_f\rho_f c_f T_f - Q_p\rho cT + Q_r\rho_r i_r + W_s i_s}{i_v}. \quad (2)$$

Энтальпии пара и конденсата определяются по выражению, полученному путем аппроксимации табличных данных:

$$\begin{aligned} i_{s,v} &= 2.5\cdot10^6 + 1813\cdot T_{sat} + 0.417\cdot T_{sat}^2 - 0.11\cdot T_{sat}^3 + 2090\cdot\left(T_{s,v} - T_{sat}\right) \\ T_{sat} &= \frac{2147}{\left(10.76 - \lg(P_s)\right)} - 273.2 \\ i_c &= \left(-0.0051\cdot T_s^2 - 1.5595\cdot T_s + 2467.1\right)\cdot10^3 \end{aligned} \quad (3)$$

Представленная модель стала основой для разработки требуемой модели ВА, отличительными особенностями которой стал иной способ нагрева (электрический ток), а также внесение условий протекания процесса по температуре и использование перистальтического насоса на пути подачи исходного раствора и слива конечного продукта через опорожнение с применением запорного дискретного клапана, дискретного управления включением тэна.

Итоговая система, описывающая разрабатываемый ВА, имеет следующий вид:

$$\begin{cases} \dfrac{dh}{dt} = \dfrac{1}{A}\left(Q_V - u_k\gamma A_K\sqrt{2gh} + \dfrac{W_v}{\rho_w}\right) \\ \dfrac{d\rho}{dt} = \dfrac{1}{Ah}\left(W_v\left(\dfrac{\rho}{\rho_w}-1\right) - Q_V\rho_V\left(\dfrac{\rho}{\rho_V}-1\right)\right) \\ \dfrac{dT_A}{dt} = \dfrac{I^2R_a}{Fc_m}u_t - \dfrac{KS_p}{Fc_m}T_A \\ \begin{cases} W_v = \dfrac{Q_V\rho_V c_V T_V - u_k\gamma A_K\sqrt{2gh}\cdot cT}{i_V}, (\text{при} T \ge T_{кип}) \\ W_v = 0, (\text{при} T < T_{кип}) \end{cases} \\ \begin{cases} \dfrac{dT}{dt} = \dfrac{\left[Q_V\rho_V\left(i_V - i\right) + W_V\left(i_V - i\right) - \lambda\left(T - T_A\right)\right]}{\rho_V c_V Ah}, (\text{при T} \le T_{кип} + \alpha) \\ \dfrac{dT}{dt} = 0, (\text{при } T > T_{кип} + \alpha) \end{cases} \end{cases} \quad (4)$$

где A – площадь поперечного сечения ВА, м^2; Q_V – объемный расход исходного раствора урана, м^3/ч; u_k – дискретное значение состояния клапана подачи исходного раствора урана, открыт/закрыт; γ – коэффициент расхода клапана; A_K – площадь поперечного сечения клапана; W_v – массовый расход вторичного пара, кг/ч; ρ_V – плотность исходного раствора урана, кг/м^3; T_A – температура греющей рубашки, °С; I – сила тока, используемая, для разогрева медного нагревателя, А; R_a – активное сопротивление, Ом; u_t – дискретное значение режима работы тэна, вкл/выкл; F – вес нагревателя, кг; S_p – поверхность охлаждения проводника м^2; K – общий коэффициент теплоотдачи, учитывающий все виды теплоотдачи; c_m – удельная теплоемкость материала проводника (медь), Дж/К.

Разработанный подход и математическое описание ВА как объекта управления (ОУ) позволяет реализовать компьютерную модель в пакете MATLAB/Simulink, для проведения ряда экспериментов по различным каналам управления с целью определения характера переходных процессов и способов их аналитического описания. На рисунках 3 и 4 представлены результаты исследований каналов по каналам управления ρ и h через расход исходного раствора Q_v

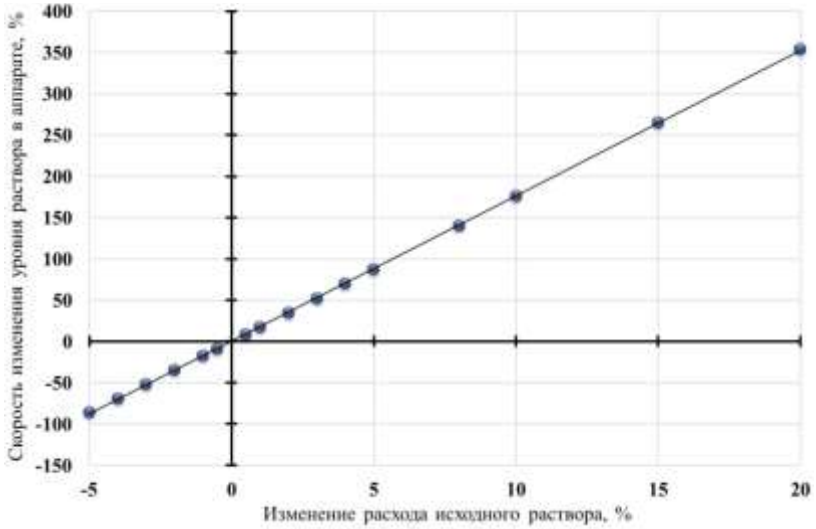


Рис. 3. Добротность по скорости ВА по каналу h

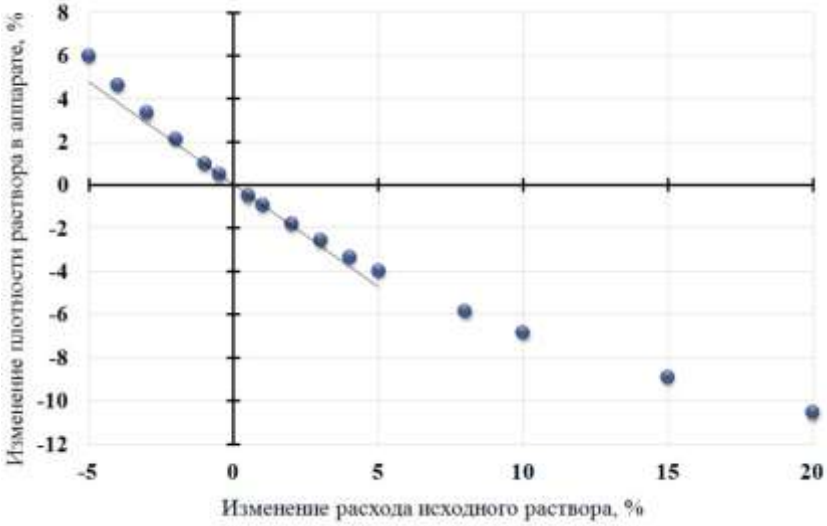


Рис. 4. Статическая характеристика ВА по каналу ρ

Как можно заметить канал управления уровнем h через расход исходного раствора Q_V линейный, а плотностью ρ является нелинейным. В диапазоне $\pm$5% данный канал можно аппроксимировать линейной функцией со среднеквадратичной ошибкой отклонения σ = 2% (см. рис.4).

Так как исследуемый объект относится к классу объектов без самовыравнивания, то при определении статических характеристик, считалось, что объект находился в квазистационарном режиме, и изменения выходных координат не превышали 1 % от заданных значений в течение всего времени моделирования до подачи возмущающих воздействий.

Разработанная модель позволяет проводить опыты с целью исследования ВА как ОУ. Создавать САУ и подбирать методику управления оборудованием, не проводя дорогостоящие эксперименты.

Список литературы

1. *Кафаров В.В., Глебов М.Б.* Математическое моделирование основных процессов химических производств: Учебное пособие для вузов. М: Высш. шк. 1991. С. 327-332.

2. *Самарский А.А., Михайлов А.П.* Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры. 2-е изд., испр. М.: Физматлит. 2001. С. 195-203.

3. *Козин К.А., Ефремов Е.В., Грачев М.И.* Математическая модель выпарного аппарата для создания системы автоматического управления выпарным оборудованием в технологиях переработки отработанного ядерного топлива // Молодой ученый: ежемесячный научный журнал. 2015. № 10 (90). С. 223–228

05.13.06

И.А. Спирин, Н.И. Хорошев

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
электротехнический факультет, кафедра микропроцессорных средств автоматизации,
Пермь, Spirin.Ilya.Andreevich@yandex.ru

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КЛАССА ОБЪЕКТА НА ИЗОБРАЖЕНИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ EYE-TRACKING И МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-4-189-191

В работе рассмотрена проблема необходимости прогнозирования класса объекта на изображении с высокой точностью посредством математической модели. Для решения данной задачи производен сбор данных с использованием технологии eye-tracking. Разработана методика обнаружения класса объекта на изображении, которая апробирована на классификационной модели объектов.

Ключевые слова: *Ай-трекинг, сегментация, определение класса объекта, машинное обучение, фиксации, ограничивающая рамка.*

Данное исследование фокусируется на улучшении алгоритмов компьютерного зрения с использованием eye-tracking технологии и визуальной значимости. Недавние достижения в технологии устройства eye-tracker позволили получить большой набор данных, содержащие изображения с фиксациями на объекте. Так как при сборе данных задачей респондента являлось визуальный поиск объекта и определение класса, то данные изображения имеют ценную информацию о расположении объекта на изображении.

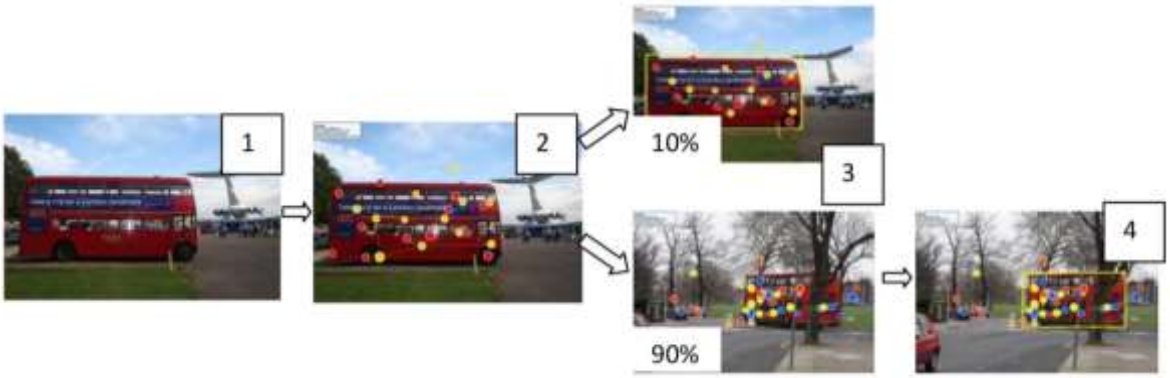


Рис. 1 – Процесс определения класса и построение ограничительной рамки объекта; 1 – входные изображения, 2 – разметка eye-tracking фиксаций на объекте, 3 – разделение изображений на два блока (10% – тестовые изображения с фиксациями и вручную нарисованной ограничительной рамкой, 90% – обучающие изображения с фиксациями), 4 – обнаружение целевого объекта на тестовых данных.

Детектор класса объекта – это предиктор, который осуществляет аннотирование объекта и построение ограничивающей рамки вокруг каждого класса объекта в изображении. Для того чтоб обучить детектор класса объекта обычно требуется большое количество изображений, в которых ограничительные прямоугольники строятся вручную. Это довольно трудоёмкий и не эффективный процесс. В статье [1] говорится, чтобы нарисовать ограничительную рамку в среднем необходимо потратить 26 секунд. Так же необходимы подробные инструкции по аннотации, обучение на основе этих инструкций и проверка. Предлагается метод, который использует фиксации взгляда на объекте вместо обычного наблюдения для локализации объекта (рис.1).

В статьях о распознавании объектов [2,3] утверждается, что свободный просмотр изображений решает задачу с большой погрешностью сбора данных для обучения модели. Данная задача, наоборот, увеличивает вероятность того, что респондент распознает целевой объект, а это облегчает основную задачу и делает результаты не корректными. Такие задачи требуют большого количества данных и испытаний. Например, если основная задача обнаружить на изображении кошку, тогда участник нажимает кнопку «да», если участник видит кошку на изображении и кнопку «нет», если кошка отсутствует. Такой набор данных должен состоять на половину из изображений, содержащих кошку, чтобы уменьшить вероятность случайного попадания. Такие данные отслеживания используются при большом количестве изображений и не могут быть корректно использованы в обучении модели. В нашем случае, используется задача с принудительным выбором объекта. С помощью такого способа собираются данные для двух классов объекта, и это позволит нам уменьшить вероятность догадки.

Данный эксперимент проводится в специальной звукоизолированной лаборатории. Наблюдатели усажены на расстоянии 60 см от ЖК-экрана, движения глаз записываются при помощи Eye-tracker Tobii T120.

Исследование начинается со стандартной процедуры – калибровка экрана. Калибровка настраивает eye-tracker под каждого респондента для того, чтобы уменьшить погрешность ошибки устройства.

Участникам предлагается просмотреть от 3 до 5 блоков в среднем каждый по 50 изображений, представленных в случайном порядке. Между блоками наблюдатель имеет возможность сделать перерыв. Задача участника состоит в том, чтобы просмотреть изображение в течение 3 секунд, а затем нажать одну из двух кнопок для ответа (например, вы видели на изображение кошку или собаку). Это необходимо для определения класса, к которому принадлежат объекты.

В сборе данных приняли участие 5 наблюдателей (3 респондента мужского пола и 2 женского пола), все учащиеся HS Anhalt. Во время исследования было собрано около 12300 записей, в среднем каждый участник оставлял 7 фиксаций на изображении. Таким образом, на каждом изображении есть от 2 до 4 наблюдения. Как показывает исследования, в зависимости от поставленной задачи большое количество фиксаций собранно именно на целевом объекте, что подтверждает наши догадки об использовании eye-tracking для обучения детектора класса объекта.

Далее предлагается рассмотреть, каким образом будет строиться модель и обучаться на полученных данных. Метод состоит из двух частей: сегментация объекта и уточнение сегментации [4]. На вход модели поступают изображения с eye-tracker устройства в виде фиксаций человеческого взгляда и аннотируемых рамок. После прохождения процесса обучения модели, на выходе строиться рамка, выделяющая целевой объект.

I) Сегментация объекта. На первом этапе прогнозируется первоначальная оценка расположения объекта, обозначая каждый суперпиксель отдельно. Этот предиктор определяет связь между фиксациями взгляда и положением объекта. Обучение этого предиктора происходит на 10% данных с фиксациями и ограничительными рамками. Выходной сигнал этого этапа представляет собой значения для каждого пикселя, который соответствует вероятности нахождения на объекте.

II) Уточнение сегментирования. Второй этап уточняет сегментацию с энергетической моделью, подобной GrabCut [5]. Сюда входят парные зависимости между соседними пикселями.

Как было сказано ранее, предиктор обучается на небольшом блоке данных, меченных вручную фиксациями и ограничивающими рамками. После того, как произведено обучение классификатора на небольшом наборе данных, было выявлено, что есть связь между функциями фиксаций и тем фактом, что суперпиксель расположен на целевом объекте или нет. На следующем этапе применяем обученный классификатор к большому набору данных 90%, в результате чего образуется маска мягкой сегментации. Данный процесс означает

извлечение объекта переднего плана из произвольного непосредственного изображения. Каждое значение пикселя в маске соответствует оценочной вероятности того, что пиксель находится на объекте.

При проведении сегментации изображении необходимо отметить следующие особенности [4]. В процессе сегментирования каждое изображении становится суперпикселем, применяя метод турбопикселей [6]. Данный алгоритм заключается в вычислении суперпикселей. Он производит сегменты, которые с одной стороны, относятся к локальным границам изображения, а с другой стороны, ограничивает недостаток по ограничению компактности. Благодаря такому методу, упрощается вычислительные сложности техники.

Еще одной особенностью является положение фиксаций. Каждая фиксация определяется четырьмя значениями: координатами фиксации (x; y), время фиксации и ранг в хронологическом порядке. В данной работе используется eye-tracking данные вместо обычного просмотра, чтобы увеличить количество фиксаций попадающих в зону целевого объекта. Таким образом, положение фиксаций определяет положение объекта на изображении. Это позволяет нам утверждать, что суперпиксель находится на объекте относительно положения фиксации.

В дополнение к положению каждой eye-tracking фиксации также предоставляет информацию о времени, такую как продолжительность и ранг каждой фиксации. Данные свойства несут ценную информацию: чем дольше длится фиксация, тем она более значима.

Далее рассматривается другое важное свойство, основанное на появлении суперпикселей. Основная идея заключается в том, что несколько суперпикселей, которые попадают в фиксацию, предопределяют фон других суперпикселей. Например, мы замечаем, что собака черного цвета, а фон зеленого, тогда, применяя несколько фиксаций и это знание, мы можем выявить собаку полностью в качестве объекта.

В заключение отметим, что для исследования было собрано большое количество eye-tracking данных для 10 классов. Кроме того доказано, что фиксация взгляда определяет положение объекта на изображении. Также были выявлены признаки связи фиксаций и пространственного положения объекта, при помощи которых была разработана классификационная модель.

Список литературы

1. *Itti, L., Koch, C., Niebur, E,* A model of saliency-based visual attention for rapid scene analysis, IEEE Trans. on PAMI 20(11), 1998

2. *Ramanathan, S., Katti, H., Sebe, N., Kankanhalli, M., Chua,* An eye fixation database for saliency detection in images, In: ECCV, 2010

3. *Walber, T., Scherp, A., Staab, S.,*Can you see it? Two novel eye-tracking-based measures for assigning tags to image regions, In: MMM, 2013

4. *D. P. Papadopoulos, A. D. F. Clarke, F. Keller and V. Ferrari*, Training object class detectors from eye tracking data European Conference on Computer Vision (ECCV), Zurich, Switzerland, 2014

5. *Dalal, N., Triggs, B.,* Histogram of Oriented Gradients for human detection. In: CVPR, 2005

6. *Levinshtein, A., Stere, A., Kutulakos, K., Fleed, D., Dickinson, S.*, Turbopixels: Fast superpixels using geometric flows. In: IEEE, PAMI, 2009

05.13.06

Э.Д. Сурсяков, А.А. Бачурин

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
электротехнический факультет, кафедра микропроцессорных средств автоматизации,
Пермь, edik_sed@mail.ru, a.bachurin@pstu.ru

ПРИМЕНЕНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ АНАЛИЗА ДАННЫХ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОНАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-4-192-194

В работе представлены результаты статистического моделирования электронасосных агрегатов, на основании которых можно определить оптимальные режимы работы оборудования. Обоснована необходимость упрощения математической модели и перехода к модели, разработанной на основе «черного ящика». Перечислены некоторые из возможных алгоритмов интеллектуального анализа данных, которые могут быть применены в исследовании.

Ключевые слова: *электронасосный агрегат, электропривод, энергоэффективность, оптимизация, статистическая модель.*

Крупные нефтедобывающие и нефтеперерабатывающие отрасли обладают высокой энергоемкостью, поэтому в условиях современного энергорынка актуальной задачей является снижение потребления электрической энергии, позволяющей существенно снизить финансовые издержки, связанные с неэффективной работой электроприводов насосов, КПД которых можно увеличить.Задача оптимизациирежимов работы приводовв настоящее время не решена в полной мереиз-за своей трудоемкости.Целью исследования является определение оптимального режима работыэлектронасосных агрегатов применительно к области нефтедобычи и нефтепереработки.

Основные черты энергетического процесса отражены на рис. 1:

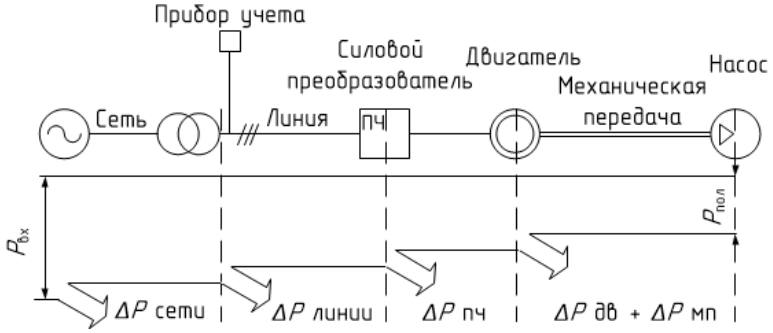


Рис. 1 – Диаграмма передачи энергии от сети к насосному агрегату

Полезная мощность, которая «доходит» до насосного агрегата, зависит от величины потерь в сети, линии, силовом преобразователе и двигателе:

$$P_{пол} = P_{вх} - \sum \Delta P = P_{вх} - (\Delta P_{сети} + \Delta P_{линии} + \Delta P_{пч} + \Delta P_{дв} + \Delta P_{мп}) \quad (1)$$

Таким образом, можно добиться увеличения полезной мощности, уменьшив потери в электроприводе.

Взаимодействие электродвигателя и насоса описывается структурной схемой:

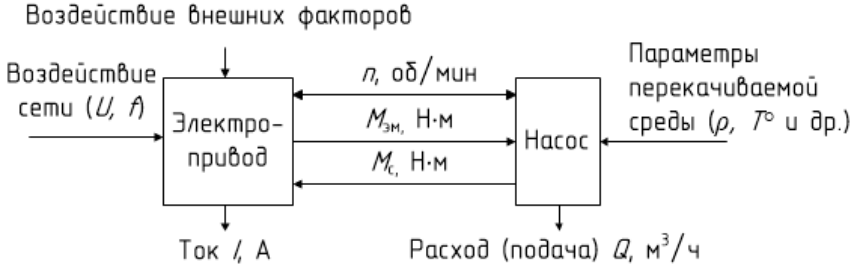


Рис. 2 – Структурная схема взаимодействия двигателя и насоса

Поведение асинхронного двигателя можноописать системой уравнений, взяв за основу Г-образную схему замещения АД:

$$\begin{cases} \eta_{\text{дв}} = 1 - \frac{\Delta P_{\text{дв}}}{P_{\text{вх. дв}}} \\ J\frac{d(w_{\text{ном}} - w_R)}{dt} = M_{\text{мех}} - M_{\text{эм}} \\ P_{\text{мех}} = w_R M_{\text{мех}} - M_{\text{эм}} \\ P_{\text{д}} = w_{\text{ном}} M_{\text{эм}} \\ s = \frac{w_{\text{ном}} - w_R}{w_{\text{ном}}} \\ P_{\text{д}} = I_{\text{д}}^2 \frac{r}{s} = \frac{U_{\text{д}}^2 rs}{\left(x_{\text{к}}\frac{w}{w_{\text{ном}}}\right)^2 s^2 + r^2} \\ Q_{\text{д}} = Q_{\text{к}} + Q_{\mu} \\ Q_{\text{к}} = I_{\text{д}}^2 x_{\text{к}} \frac{w}{w_{\text{ном}}} = P_{\text{д}} \frac{s}{r} x_{\text{к}} \frac{w_R}{w_{\text{ном}}} \\ Q_{\mu} = \frac{U_{\text{д}}^2}{x_{\mu}\frac{w}{w_{\text{ном}}}} f(U_{\text{д}}) \\ f(U_{\text{д}}) = \left(\frac{U_{\text{д}}}{U_{\text{Дном}}}\right)^{K_{\mu}-2} \end{cases} \quad (2)$$

Таблица 1. Уравнения характеризующие работу насосов

Тип насоса	Формула момента	Формула расхода
Центробежный	$M_{\text{с}}(w) = M_{\text{с0}} + (M_{\text{сн}} + M_{\text{с0}})\left(\frac{w}{w_{\text{н}}}\right)^a$	$Q = b1 \cdot (\pi \cdot D1 - \delta \cdot Z) \cdot c1$ $= b2 \cdot (\pi \cdot D2 - \delta \cdot Z) \cdot c2$
	$M = M_{\text{к}}\left(\frac{1-v}{1-v_{\text{мин}}}\right)^2 + \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot a_p \cdot B(v^2 - v_{\text{мин}}^2)}{\eta_{\text{н1}} \cdot v \cdot w_{\text{н}} \cdot (b_p + B)}$	
Поршневой	$M_{\text{с}} = \frac{FR}{\eta}\frac{\sin(wt+\alpha)}{cos\alpha}$	$Q = F \cdot S \cdot n \cdot \eta V$

[3], [4].

В зависимости от определенных условий в качестве критерия оптимизации можно взять потери мощности в электроприводе или ток двигателя. На основе выбранного критерия составляется целевая функция:

$$\Delta P = F(\rho, g, H, Q, T°, U, n \ldots) \rightarrow min \quad (3)$$

где $\rho, g, H, Q, T°, U, n$– технологические параметры насоса и двигателя.

Таким образом, решение задачи оптимизации электропривода в реальных условиях при помощи математической модели является трудоемким, чтообъясняется необходимостью сбора крупного объема данныхиоперированием большим количеством зависимостей.

Требуется более простая и общая математическая модель, менее трудоемкий способ определения оптимального режима электропривода, который позволил бы с меньшей, но достаточной точностью определить оптимальный режим электропривода. Насосный агрегат может обеспечивать схожие требуемые параметры с использованием разных режимов работы, более и менее оптимальных, данные представлены в таблице 2.

Таблица 2. Измеренные параметры электронасосного агрегата

Характеристики	Раб. точка 1	Раб. точка 2
Скорость вращения двигателя, об/мин	1940	1831
Давление, МПа	5	5.8
Напор, м	20	14.5
Производительность, м^3/час	18	13.1
Плотность перекачиваемой среды, кг/м^3	904.4	906.5
Температура перекачиваемой среды, °С	174	202.2
Ток двигателя, А	35	34

В работе предложено построить математическую модель по принципу «черного ящика» статистическими методами с минимальным набором параметров для снижения трудоемкости решения, при этом незначительно загрубив результат. Предлагаемая оптимизационная статистическая модель позволит найти такое соотношение между установленными параметрами насосного агрегата и электродвигателя, которое обеспечит минимальное энергопотребление электропривода. Входными значениями модели будут измеренные технологические параметры электронасосного агрегата в различные промежутки времени. На основе выявленной зависимости производится решение целевой функции[5].



Рис. 3 Схема статистической модели

Существуют различные способы формирования статистической модели, такие какрегрессионный, корреляционный, кластерный анализ и другие непараметрические методы статистики, которые нашли широкое применение в интернет-технологиях, торговле, телекоммуникациях, медицине, промышленном производстве, где обеспечивают хороший результат. В данном исследовании результат может быть получен при помощи кластеризации – разделения заданной выборки на подмножества (кластеры) по степени схожести, выделения кластерных центров, задающихся определенными параметрами. Распространенными способами кластеризации являются алгоритм *k*-средних, иерархическая кластеризация и кластеризация с помощью нейронных сетей [6], [7], [8].

Из перечисленных способов был выбран кластерный анализ методом *k*-средних и реализован при помощи языка статистической обработки данных *R* и программного пакета *RStudio*.

С помощью статистической модели «черный ящик» продемонстрировано, что гарантированный и действительно оптимальный результат по оптимизации может быть получен более простым способом, а также имеет практическую реализацию применительно к электроприводу насосов нефтедобывающей отрасли.

Список литературы

1. *Петухов С.В., Кришьянис М.В.* – Электропривод: учебное пособие. – Архангельск: С(А)ФУ, 2015. – 303 с.

2. *Вайнштейн Р.А., Коломиец Н.В., Шестакова В.В.* Математические модели элементов электроэнергетических систем в расчетах установившихся режимов и переходных процессов: уч. пособие. – Томск: Изд-во Томского Политехнического университета, 2010. – 115 с.

3. *ШабановВ. А.,Кабаргина О. В*. Методика построения механических характеристик магистральных насосов при частотно-регулируемом электроприводе // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело», 2011. №6. С. 30 – 35. URL: http://ogbus.ru/authors/Shabanov/Shabanov_19.pdf(дата обращения 25.03.2017).

4. *Лезнов Б.С.* Энергосбережение и регулируемый привод в насосных и воздуходувных установках. – М.: Энергоатомиздат, 2006. – 360 с.

5. *Костин В. Н., Тишина Н. А.* Статистические методы и модели: учебное пособие. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2004. – 138 с.

6. *Барсегян А. А., Куприянов М. С., Холод И. И.* Анализ данных и процессов: учеб. Пособие. – 3-е изд., перераб. и доп. – СПб.: БХВ-Петербург, 2009. – 512 с.

7. *Hastie T., Tibshirani R., Friedman J.* The elements of statistical learning: data mining, inference, and prediction. – Second edition. – 2001 – 764 с.

8. *Anil K. Maheshwari.* Business Intelligence and data mining. – 2015. – 248с.

9. *А. Б. Петроченков.* О подходах к оценке текущего состояния электротехнического оборудования нефтедобывающих предприятий // М-во образования и науки Рос. Федерации, Уфим. гос. нефт. техн. ун-т, Каф. Электротехника и электрооборудование предприятий. - Уфа: Нефтегазовое дело, 2013. – 179-183 с.

05.13.00

А.В. Татосов, А.И. Варавва

Тюменский государственный университет,
Институт математики и компьютерных наук,
Тюмень, artevar@yandex.ru, atatosov@utmn.ru

МОДЕЛЬ ПОДАЧИ РЕАГИРУЮЩЕЙ БИНАРНОЙ СМЕСИ В ПЛАСТ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-4-195-200

Предложена математическая модель подачи в продуктивный пласт реагирующей бинарной смеси. Учтены эффекты разогрева пласта и выделения газа. Проведен анализ уравнения переноса тепла.

Ключевые слова: *пористая среда, многофазная фильтрация, экзотермическая реакция.*

Введение

На практике применяются различные методы интенсификации добычи высоковязкой нефти. Одним из перспективных и представляющих научный интерес является метод подачи в продуктивный пласт энерговыделяющей бинарной смеси. В работах [1-2] предлагается обрабатывать призабойную зону пласта бинарной смесью, основной компонент которой является водный раствор двух солей – нитрита натрия ($NaNO_2$) и нитрата аммония (NH_4NO_3). Компоненты бинарной смеси распадаются на ионы: NH_4^+, Na^+, NO_3^-, NO_2^-. Через некоторое время в пласте под действием кислотных катализаторов инициируется экзотермическая реакция образования азота и воды

$$NH_4^+ + NO_2^- \to N_2 + 2H_2O\,.$$

В результате реакции прогревается призабойная зона, а выделяющийся газ под давлением рассеивается в пласте. После обработки бинарными смесями понижается вязкость нефти, вымываются загрязнения и парафины, увеличивается естественная трещиноватость карбонатных коллекторов [3-4].

Основные уравнения

Дополним [5] реакцией компонентов подаваемой смеси. Выделим три подвижные фазы, существенно различающиеся по свойствам. Каждая из этих фаз перемещается с собственной скоростью фильтрации, общей для составляющих ее компонент. Первая фаза включает воду и растворимые продукты реакции

$$H_2O - 0\,, NH_4^+ - 1\,,\quad Na^+ - 2\,, NO_3^- - 3\,, NO_2^- - 4\,.$$

Ее истинная плотность ρ_1 есть функция массовых концентраций компонентов C_{1k}

$$\rho_1 = \rho_1(C_{1k})\,, k = 0, \dots, 4$$

Вторая фаза – подвижная нефть с растворенным в ней жидким парафином. Истинная плотность второй фазы определяется конкретным составом нефти с массовым содержанием C_{21} и массовым содержанием C_{22} в ней парафинов

$$\rho_2 = \rho_2(C_{2k})\,, k = 1,2$$

Третья фаза – газ, выделяемый из смеси и подчиняющийся уравнению состояния $f(p_3, \rho_3, T_3) = 0$. Четвертая фаза – твердый парафин, осевший на скелете породы, истинная плотность которого ρ_4.

Плавление твердого парафина и вовлечение его в поток влияет на подвижность фаз. Пористость скелета m считалась постоянной, но основные уравнения допускают ее изменение совместно с плотностью ρ_0. Каждая фаза, включая твердый парафин, характеризуется своей насыщенностью s_k, скоростью фильтрации $\boldsymbol{u}_i$, а также давлениями. Для крупномасштабного приближения приемлема схема с общим p. Движение фаз подчиняется закону Дарси. В результате химической реакции выделяется тепловая энергия. В целях упрощения исходной системы будем считать температуру всех фаз, включая твердую породу, одинаковой и равной T.

Модель подачи реагирующей бинарной смеси отражает основные законы сохранения [6]:

$$\frac{\partial}{\partial t}(ms_i C_{ik}\rho_i) + \nabla\cdot(C_{ik}\rho_i \boldsymbol{u}_i) = J_{ik}\,,$$
$$\frac{\partial}{\partial t}(ms_3\rho_3) + \nabla\cdot(\rho_3 \boldsymbol{u}_3) = J_3\,,$$
$$\frac{\partial}{\partial t}(ms_4\rho_4) = J_4\,,$$
$$\boldsymbol{u}_i = -\frac{kk_i}{\mu_i}\nabla p\,,$$
$$\frac{\partial}{\partial t}\left[(1-m)\rho_0 e_0 + \sum_{i=1}^{4} ms_i\rho_i e_i\right] + \nabla\cdot\sum_{i=1}^{3}\rho_i h_i\,\boldsymbol{u}_i = \nabla\cdot\left[(1-m)\varkappa_0 + \sum_{i=1}^{4} ms_i\varkappa_i\right]\nabla T\,; \quad (1)$$
$$\sum_{i=1}^{4} s_i = 1\,,\ \sum_{k=0}^{4} C_{1k} = 1\,,\ \sum_{k=1}^{2} C_{2k} = 1\,.$$

Здесь e_i, h_i – внутренняя энергия и энтальпия фаз, кинетической энергией пренебрегаем. Общий перенос первой и второй фаз определяется суммированием по всем компонентам

$$\frac{\partial}{\partial t}(ms_1\rho_1) + \nabla\cdot(\rho_1\boldsymbol{u}_1) = \sum_{k=0}^{4} J_{1k} = J_1\,,$$
$$\frac{\partial}{\partial t}(ms_2\rho_2) + \nabla\cdot(\rho_2\boldsymbol{u}_2) = J_{21} + J_{22} = J_2\,. \quad (2)$$

Уравнение энергии можно переписать в виде

$$\frac{\partial}{\partial t}\left[(1-m)\rho_0 h_0 + \sum_{i=1}^{4} ms_i\rho_i h_i\right] + \nabla\cdot\sum_{i=1}^{3}\rho_i h_i\,\boldsymbol{u}_i - \frac{\partial p}{\partial t} = \varkappa\nabla^2 T\,. \quad (3)$$

Коэффициент теплопроводности среды $\varkappa$ близок к соответствующему значению для твердого скелета $\varkappa = \varkappa_0$.

Замыкающие соотношения

Интенсивность источников

Скорость реакции пропорциональна мольным концентрациям (долям) реагирующих веществ. Интенсивность реакции, отнесенная к единице объема первой фазы

$$j = k[C_{11}][C_{14}]\,;\ [C_{1k}] = \frac{C_{1k}\rho_1}{M_{1k}}, k = Aexp\left\{-\frac{E}{RT}\right\}.$$

Стехиометрические коэффициенты реакции дают скорости образования компонентов

$$j_{11} = j_{14} = -j,\ j_{12} = j_{13} = 0,\ j_{10} = 2j,\ j_3 = j.$$

Для единицы объема среды скорость образования массы компонентов

$$J_{1k} = ms_1 j_{1k} M_{1k}\,,\ J_3 = ms_1 j_3 M_3\,;$$
$$M_{11} = M_{NH_4}, M_{12} = M_{Na}, M_{13} = M_{NO_3}, M_{14} = M_{NO_2}, M_{10} = M_{H_2O}, M_3 = M_{N_2};$$

при этом

$$J_{11} + J_{14} + J_3 = 0\,.$$

С учетом начальных условий имеет место равенство мольных долей

$$[C_{11}] = [C_{14}], [C_{12}] = [C_{13}].$$

Скорость перехода твердого парафина в жидкое состояние будем считать пропорциональной разности текущего значения концентрации C_{22} и максимально допустимого значения C_{22}^*, соответствующего фазовому равновесию

$$J_p = -k_p(C_{22} - C_{22}^*)\,.$$

Растворимость парафина в нефти в рамках модели идеального раствора

$$C_{22}^* = C_{22}^0 exp\left\{-\frac{L_4 M_4}{R}\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)\right\}.$$

Интенсивности источников второй фазы

$$J_{21} = 0\,,\ J_{22} = J_p\,;$$

для четвертой фазы имеем соответственно

$$J_4 = -J_p\,.$$

Уравнения состояния

Примем аддитивность удельных объемов составляющих жидких смесей

$$\frac{1}{\rho_1}=\sum_{k=0}^{4}\frac{C_{1k}}{\rho_{1k}}\,,\ \frac{1}{\rho_2}=\sum_{k=1}^{2}\frac{C_{2k}}{\rho_{2k}}\,.$$

ρ_{ik}– истинные плотности компонентов. Первая и четвертая фазы несжимаемые

$$\rho_{1k},\rho_4\ =const\,;$$

нефтяная компонента представляет собой слабосжимаемую среду

$$\rho_{21}-\rho_{21}^0=\frac{p-p_0}{a_{21}^2}\,,\ a_{21}^2=\left(\frac{\partial p}{\partial\rho_{21}}\right)_T\,;\ \rho_{22}=const\,;$$

выделяющийся в ходе реакции азот подчиняется уравнению

$$\rho_3=\frac{pM_3}{RT}\,;$$

пространственный перенос породы отсутствует

$$\frac{\partial}{\partial t}[(1-m)\rho_0]=const\,.$$

Внутренняя энергия и энтальпия фаз

$$h_i=e_i+\frac{p}{\rho_i}\,;\ i=1,..,4$$

$$h_1=\sum_{k=0}^{4}C_{1k}h_{1k}\,,h_2=\sum_{k=1}^{2}C_{2k}h_{2k}\,,\ h_{ik}=c_{ik}(T-T_0)+\frac{p-p_0}{\rho_{ik}}+h_{ik}^0\,;$$

$$h_3=c_3(T-T_0)+h_3^0\,,\ h_4=c_4(T-T_0)+\frac{p-p_0}{\rho_4}+h_4^0,\ h_0=c_0(T-T_0)+\frac{p-p_0}{\rho_0};$$

условия нормировки

$$h_3^0+h_{10}^0\frac{2M_{10}}{M_3}-h_{11}^0\frac{M_{11}}{M_3}-h_{14}^0\frac{M_{14}}{M_3}=-L_3,\qquad h_4^0-h_{22}^0=-L_4\,. \tag{4}$$

Здесь ρ_{ik} и c_{ik} – истинные плотности и теплоемкости компонентов, c_i – теплоемкости фаз; L_3 – теплота реакции, отнесенная к единице массы образовавшегося газа, L_4 – теплота плавления парафина. Теплота реакции L, приходящаяся на единицу массы исходной сухой бинарной смеси, связана с L_3 соотношением

$$L\sum_{k=1}^{4}M_{1k}=L_3M_3\,.$$

Для энтальпии нефтяной компоненты второй фазы более точное выражение

$$h_{21}=c_{21}(T-T_0)+\frac{p^2-p_0^2}{2(\rho_{21}a_{21})^2}+\frac{p-p_0}{\rho_{21}}+h_{21}^0\,,$$

однако для дальнейшего, данное изменение будем считать несущественным.

Уравнение энергии (3) принимает вид

$$\frac{\partial}{\partial t}\left[(1-m)c_0\rho_0T+\sum_{i=1}^{4}ms_i\rho_ic_iT\right]+\nabla\cdot\sum_{i=1}^{3}\rho_ic_iT\boldsymbol{u}_i-\frac{\partial}{\partial t}(ms_3p)+\nabla\cdot\sum_{i=1}^{2}p\boldsymbol{u}_i+\sum_{i=1}^{2}\sum_{k}h_{ik}^0J_{ik}+\sum_{i=3}^{4}h_i^0J_i=\varkappa\nabla^2T\,.$$

Здесь и далее в уравнении переноса тепла под T, p понимаются отклонения $T-T_0$, $p-p_0$. Учитывая нормировку энтальпий (4)

$$\sum_{i=1}^{2}\sum_{k}h_{ik}^0J_{ik}+\sum_{i=3}^{4}h_i^0J_i=\left(h_3^0+h_{10}^0\frac{2M_{10}}{M_3}-h_{11}^0\frac{M_{11}}{M_3}-h_{14}^0\frac{M_{14}}{M_3}\right)J_3+(h_4^0-h_{22}^0)J_4=-L_3J_3-L_4J_4,$$

найдем

$$\frac{\partial}{\partial t}\left[(1-m)c_0\rho_0T+\sum_{i=1}^{4}ms_i\rho_ic_iT-ms_3p\right]+\nabla\cdot\sum_{i=1}^{3}\rho_ic_iT\boldsymbol{u}_i+\nabla\cdot\sum_{i=1}^{2}p\boldsymbol{u}_i=\varkappa\nabla^2T+\sum_{i=3}^{4}J_iL_i\,. \tag{5}$$

При переходе для газовой фазы к теплоемкости при постоянном объеме $c_3=c_{V3}+R/M_3$, для остальных $c_i\approx c_{Vi}$, уравнение энергии (5) перепишется как

$$\frac{\partial}{\partial t}\left[(1-m)c_0\rho_0 T+\sum_{i=1}^{4} ms_i\rho_i c_{Vi}T\right]+\nabla\cdot\sum_{i=1}^{3}\rho_i c_{Vi}T\boldsymbol{u}_i+\nabla\cdot\sum_{i=1}^{3}p\boldsymbol{u}_i=\varkappa\nabla^2T+\sum_{i=3}^{4}J_iL_i\,. \qquad (6)$$

Учет неидеальности газовой фазы требует корректировки уравнений состояния $f(p,\rho_3,T)=0$. С целью ведения теплового эффекта реакции, выделим производные от энтальпии. Имеем

$$(1-m)\rho_0\frac{\partial h_0}{\partial t}+\sum_{i=1}^{4} ms_i\rho_i\frac{\partial h_i}{\partial t}+\sum_{i=1}^{3}\rho_i\,\boldsymbol{u}_i\cdot\nabla h_i-\frac{\partial p}{\partial t}+\sum_{i=1}^{2}\sum_{k} h_{ik}J_{ik}+\sum_{i=3}^{4}h_iJ_i=\varkappa\nabla^2T\,.$$

Здесь учтены уравнения неразрывности фаз и их компонент. Представив дифференциал энтальпии в виде

$$dh_i=c_i dT+c_i\varepsilon_i dp\,,$$

где c_i – теплоемкость, ε_i – коэффициент Джоуля-Томсона

$$\varepsilon_i=\frac{1}{c_i}\left(\frac{\partial h_i}{\partial p}\right)_T=\frac{V_i-T(\partial V_i/\partial T)_p}{c_i}\,,V_i=\frac{1}{\rho_i}\,;$$

получим

$$(1-m)\rho_0c_0\frac{\partial T}{\partial t}+\sum_{i=1}^{4} ms_i\rho_ic_i\frac{\partial T}{\partial t}+\sum_{i=1}^{3}\rho_ic_i\,\boldsymbol{u}_i\cdot\nabla T-\frac{\partial p}{\partial t}+\varepsilon_0(1-m)\rho_0c_0\frac{\partial p}{\partial t}+\sum_{i=1}^{4}\varepsilon_i ms_i\rho_ic_i\frac{\partial p}{\partial t}$$
$$+\sum_{i=1}^{3}\varepsilon_i\rho_ic_i\,\boldsymbol{u}_i\cdot\nabla p+\sum_{i=1}^{2}\sum_{k} h_{ik}J_{ik}+\sum_{i=3}^{4}h_iJ_i=\varkappa\nabla^2T\,.$$

Теплоемкости первой и второй фаз определяются их составом

$$c_1=\sum_{k=0}^{4}C_{1k}c_{1k}\,,c_2=\sum_{k=1}^{2}C_{2k}c_{2k}\,.$$

Вводя коэффициент адиабатичности

$$\eta_i=\frac{1}{\rho_ic_i}-\varepsilon_i=\frac{T(\partial V_i/\partial T)_p}{c_i}\,,$$

будем иметь

$$\frac{\partial}{\partial t}\left[(1-m)\rho_0c_0T+\sum_{i=1}^{4} ms_i\rho_ic_iT\right]+\nabla\cdot\sum_{i=1}^{3}\rho_ic_iT\,\boldsymbol{u}_i-(1-m)\eta_0\rho_0c_0\frac{\partial p}{\partial t}-\sum_{i=1}^{4}m\eta_is_i\rho_ic_i\frac{\partial p}{\partial t}$$
$$+\sum_{i=1}^{3}\varepsilon_i\rho_ic_i\,\boldsymbol{u}_i\cdot\nabla p+\sum_{i=1}^{2}\sum_{k}(h_{ik}-c_{ik}T)J_{ik}+\sum_{i=3}^{4}(h_i-c_iT)J_i=\varkappa\nabla^2T\,.$$

Сохранив адиабатический эффект только для газовой фазы, полагая для остальных $\eta_i=0$, $\varepsilon_i=1/(\rho_ic_i)$, $i\neq 3$, найдем окончательно

$$\frac{\partial}{\partial t}\left[(1-m)\rho_0c_0T+\sum_{i=1}^{4} ms_i\rho_ic_iT\right]+\nabla\cdot\sum_{i=1}^{3}\rho_ic_iT\,\boldsymbol{u}_i-m\eta_3s_3\rho_3c_3\frac{\partial p}{\partial t}+\sum_{i=1}^{2}\boldsymbol{u}_i\cdot\nabla p+\varepsilon_3\rho_3c_3\boldsymbol{u}_3 \qquad (7)$$
$$\cdot\nabla p+\sum_{i=1}^{2}\sum_{k}(h_{ik}-c_{ik}T)J_{ik}+\sum_{i=3}^{4}(h_i-c_iT)J_i=\varkappa\nabla^2T\,.$$

Различие энтальпий дает приближенно

$$\sum_{i=1}^{2}\sum_{k}(h_{ik}-c_{ik}T)J_{ik}+\sum_{i=3}^{4}(h_i-c_iT)J_i\approx-L_3J_3-L_4J_4\,. \qquad (8)$$

Обычно разности энтальпий сразу заменяют теплотой реакции. Однако тепловой эффект существенно зависит от температуры и давления. В приведенной форме уравнения энергии эта зависимость в некоторой степени учтена. Тем не менее, выделение дифференциала энтальпии не столь эффективно. Более достоверным представляется использование в уравнении (3) выражения для энтальпии газа в виде

$$h_3=c_3(T-T_0)+\varepsilon_3c_3(p-p_0)+h_3^0\,,$$

предполагающее, конечно, постоянство ε_3 в рассматриваемом интервале изменения параметров. В этом случае будем иметь

$$\frac{\partial}{\partial t}\left[(1-m)c_0\rho_0 T+\sum_{i=1}^{4} ms_i\rho_i c_i T\right]+\nabla\cdot\sum_{i=1}^{3}\rho_i c_i T\boldsymbol{u}_i-m\eta_3 s_3\rho_3 c_3\frac{\partial p}{\partial t}-p\frac{\partial ms_3}{\partial t}$$
$$+\varepsilon_3\rho_3 c_3\boldsymbol{u}_3\cdot\nabla p+\nabla\cdot\sum_{i=1}^{2} p\boldsymbol{u}_i+\varepsilon_3 c_3 pJ_3=\varkappa\nabla^2 T+\sum_{i=3}^{4} J_i L_i\,. \qquad (9)$$

Отличие (7) и (9) незначительно и обусловлено использованием приближенного равенства (8). Для дальнейшего примем уравнение (9), считая $\varepsilon_3 c_3 p/L_3 \ll 1$. В случае модели идеального газа (9) тождественно (5).

Фильтрационные параметры

Относительные фазовые проницаемости зададим в виде [7]

$$k_1=s_1^2,\ k_3=s_3^2,\ k_2=\frac{s_1(1-s_1)^2+s_3(1-s_3)^2}{s_1+s_3}.$$

Абсолютная проницаемость зависит от присутствия в пласте отложений парафина, ее значение определим по формуле Козени

$$k=\frac{k_0 m'^3}{(1-m')^2}\,,m'=m(1-s_4)\,;$$

где k_0 – абсолютная проницаемость скелета породы, m' – доля порового пространства доступная для фильтрации. Разогрев пласта существенно меняет вязкость нефти

$$\mu_2=\mu_{20}exp\left\{k_\mu\left(\frac{1}{T}-\frac{1}{T_0}\right)\right\}.$$

Вязкости газа и воды можно считать постоянными $\mu_1,\mu_3=const$.

Начальные и краевые условия

В осесимметричной постановке

$$\boldsymbol{u}=u\boldsymbol{e}_r\,,\nabla=\frac{\partial}{\partial r}\boldsymbol{e}_r\,,\nabla\cdot=\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(r\frac{\partial}{\partial r}\right)\boldsymbol{e}_r\cdot;$$

начальные и граничные условия для уравнений движения с неизвестными

$$p=p(r,t),T=T(r,t),s_i=s_i(r,t),C_{ik}=C_{ik}(r,t)\,;$$
$$r_w\le r\le r_e,t\ge 0\,;$$

имеют вид

$t=0:\ p=p_0,T=T_0\,,s_i=s_i^0,C_{ik}=C_{ik}^0\,;$

$0<t\le\tau,r=r_w: p=p_w,T=T_0\,,s_i=s_i^w,C_{ik}=C_{ik}^w\,;$

$t>\tau,r=r_w:\frac{\partial p}{\partial r}=\frac{\partial T}{\partial r}=0\,;$

$r=r_e: p=p_0,T=T_0\,;$

начало реакции $t=\tau_r>\tau$.

В течение времени τ ведется нагнетание водного раствора химически активных компонентов заданного состава, реакция при этом заморожена. Затем скважина закрывается до окончания протекания в пласте химической реакции.

Таким образом, формализована постановка задачи о закачивании в продуктивный пласт реагирующей бинарной смеси. Проанализированы различные подходы к обоснованию уравнения переноса тепла.

Список литературы

1. *Александров Е.Н.* Высокотемпературный режим реакции бинарных смесей и стимулирование добычи на обводненных месторождениях / Е.Н. Александров [и др.] // Нефтехимия. – 2013. – Т. 53. – № 4. – С. 312-320.

2. *Вершинин В.Е.* Кинетика химических реакций при термогазохимическом воздействии на призабойную зону водными растворами бинарных смесей / В.Е. Вершинин [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2016. – № 12. – С. 114-117.

3. *Kline W.E., Fogler H.S.* Dissolution of Silicate Minerals by Hydrofluoric Acid // Ind. Eng. Chem. Fundam.– 1981. Vol. 20, № 2. – P. 151-161.

4. *Звягин Г.А., Южанинов П.М., Дзюбенко А.И.* Исследование источников загрязнения и технологий обработок нагнетательных скважин // Нефтепромысловое дело. – 1982. № 11. – С. 114-115.

5. *Татосов А.В., Козлов В.Д.* Очистка призабойной зоны скважины реагирующей бинарной смесью // Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. – 2015. – Т. 1. – № 4(4). – С. 112-116.

6. *Басниев К.С., Кочина И.Н., Максимов В.М.* Подземная гидромеханика. – М.: Недра, 1993. – 414с.

7. *Федоров К.М., Шарафутдинов Р.Ф.* К теории неизотермической фильтрации с фазовыми переходами // Изв. АН СССР. Механика жидкости и газа – 1989. – № 5 – С. 78-85.

05.13.18

Н.М. Труфанова д.т.н., И.Я. Дятлов, В.В. Черняев к.т.н.

Пермский национальный исследовательский политехнический университет
Пермь, trufanova@pstu.ru, d.i.994@yandex.ru, ktei@pstu.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВУЛКАНИЗАЦИИ ЧИСЛЕННЫМ МЕТОДОМ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-4-201-204

В статье предложена осесимметричная математическая модель процесса сшивки резиновой изоляции в условиях конвективного теплообмена в вулканизационной трубе. Численная реализация осуществлялась методом конечных элементов в программном комплексе АНСИС. Получены поля скоростей, температур и степени вулканизации в поперечных сечениях канала и по длине. Определено влияние параметров технологического процесса (величина давления пара в трубе и скорость изолирования) на степень сшивки.

Ключевые слова: *Тепломассоперенос, вулканизация, сшивка, резина, численное моделирование, изоляция.*

На сегодняшний день в промышленности широко используются кабели с вулканизированной резиновой изоляцией. Такие кабели обладают рядом преимуществ: повышенная прочность, химическая стойкость, лучшие электротехнические свойства, которые напрямую связаны с процессом сшивки (вулканизации) - с процессом образования поперечных межмолекулярных химических связей.

Свойства готового изделия зависят от степени сшивки - доли молекул с поперечными связями от общего числа молекул. На коэффициент сшивки влияют множество факторов: температура, давление пара, среда вулканизации, условия теплообмена, скорость изоляции, толщина и рецептура изоляционного слоя.

Теоретическими изысканиями в этой области занимались отечественные и зарубежные ученые [2-6], где в одномерной или двумерной постановка исследовались кинетические процессы совместно с процессами тепломассопереноса и оценивалась степень вулканизации как функция времени.

В качестве объекта исследования в данной работе был выбран процесс вулканизации резиновой изоляции кабеля марки КГ 1х120 [1], происходящий в вулканизационной трубе в среде пара. Геометрические параметры кабеля приведены в таблице 1, а параметры трубы в табл. 2.

Таблица 1- Параметры кабеля.

Толщина изоляции, мм	1,5
Сечение токопроводящей жилы	120 мм^2

Сшивка резиновой изоляции происходит в вулканизационной трубе наклонного типа с параметрами, приведенными в табл. 2.

Таблица 2- Параметры вулканизационной трубы.

Длина трубы, м	83
Диаметр трубы, мм	114,3
Среда вулканизации	Пар
Средняя температура пара	180 °С
Давление пара	10-17 Атм.

В качестве предмета исследования рассматривается величина коэффициента сшивки изоляции в зависимости от давления среды и скорости линии.

При разработке математической модели процессов сложного теплообмена в трубе с учетом кинетических процессов были сделаны следующие допущения:

1) Наклонная геометрия трубы заменена на прямую горизонтальную.
2) Теплофизические свойства материалов кабеля постоянны.

3) Поверхность трубы - адиабатическая поверхность.
4) Давление в трубе постоянно.
5) Движение пара в трубе ламинарное.

С учетом сделанных допущений система дифференциальных уравнений имеет вид:

$$\begin{cases} \rho_k c_k \left(\frac{\partial T}{\partial t} + v_i \frac{\partial T}{\partial x_i}\right) = -\lambda_k \Delta T + q_{v_k} & (1) \\ \rho_k \left(\frac{\partial v_i}{\partial t} + v_j \frac{\partial v_i}{\partial x_j}\right) = \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{i,j}}{\partial x_i} + g\beta_k \left(T - T_0\right) & (2) \\ -\rho_k \frac{\partial v_i}{\partial x_i} = \frac{\partial p}{\partial t} + v_i \frac{\partial p}{\partial x_i} & (3) \\ q_{v_k} = Q_p \rho_u \frac{d\varphi}{dt}; \quad \frac{d\varphi}{dt} = (1-\varphi) k_0 e^{\left(-\frac{E_a}{RT}\right)} & (4) \\ \rho - \rho_0 = -\rho_0 \beta (T - T_0) & (5) \end{cases}$$

где, ρ, c, λ – плотность, теплоемкость, коэффициент теплопроводности ($кг/м^3$), $Дж/(кг \cdot C)$, $Вт/(м \cdot C)$); x_i –декартовые координаты; v_i –компоненты вектора скорости ($м/с$); T –температура (C); q_v –мощность внутренних источников тепла ($Вт/м^3$); t – время процесса ($сек$); $\tau_{i,j}$ - тензор напряжений, g – ускорение свободного падения (м/с^2); β – коэффициент термического расширения (К$^{-1}$), $E_a = 77\ кДж/моль$ - энергия активации реакции вулканизации; $k_0 = 500\ 000\ 000\ 1/c$ - количество связей в секунду; φ - степень вулканизации; R- газовая постоянная; Т-температура объекта, Q_n- энергия реакции.

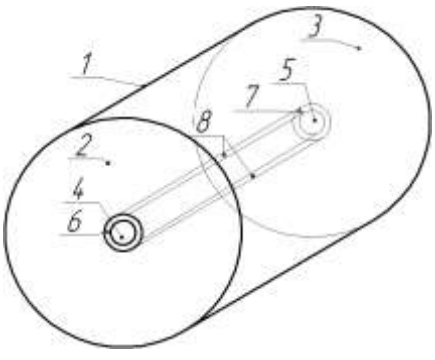
Необходимо отметить, что параметры пара, задавались как функции давления и температуры согласно [7], что позволило оценить процесс сшивки при различном давлении пара в вулканизационной трубе.

Система уравнений (1)-(5) замыкалась граничными условиями, приведенными в таблице 3.

Стоит отметить, что такие параметры пара, как динамическая вязкость, плотность, теплоемкость и теплопроводность и т.д. задавались как функции от давления и температуры. Это позволило оценить изменение процессов тепломассопереноса при различном давлении пара в вулканизационной трубе.

Таблица 3- Граничные условия.

Зона	Граничное условие	
1.Поверхность трубы	Температура [210С°], Условие непроницаемости	
2,3 Вход/выход в трубу	Температура[210С°], Условие непроницаемости	
4. ТПЖ Вход	Температура [70С°], Скорость[0,5 м/с]	
5. ТПЖ Выход	Адиабата, Скорость [0,5 м/с]	
6.Изоляция вход	Температура [70 С°], Скорость[0,5 м/с]	
7.Изоляция выход	Адиабата, Скорость [0,5 м/с]	
8.Объем изоляции	Источник тепла от реакции вулканизации q_v	
Поверхность изоляции	Условие непроницаемости, конвективный теплообмен с паровой средой	



Замкнутая система уравнений решалась методом конечных элементов в среде ANSYS CFX.

В ходе исследований были получены зависимости степени сшивки от давления среды вулканизации и скорости изолирования.

Для оценки влияния величины давления пара на степень вулканизации был выбран диапазон (10-17)ат. Такие величины давления характерны для технологического режима изолирования и вулканизации, при котором возникают скачки давления из-за различных внешних факторов.

Чтобы провести оценку степени вулканизации изоляции кабеля отслеживалась ее величина в двух точках, расположенных на внешней и внутренней поверхности изоляции.

Такой подход позволяет наглядно рассмотреть процесс вулканизации резины, так как можно сравнивать величину сшивки на внешнем и внутреннем слоях изоляции.

Графики взаимосвязи степени сшивки от давления приведены на рис. 1.

Из полученных кривых для случая 100% сшивки (*рис.3,а)* – видно, что в первой половине трубы резина сшивается с максимальной скоростью, до величины порядка (50-85)% у поверхности жилы и изоляции соответственно. По остальным кривым (*рис.3,б,в,г*) заметно, что изменяются как степень вулканизации, так и наклон кривых – т.е скорость вулканизации, что обусловлено падением температуры при снижении величины давления.

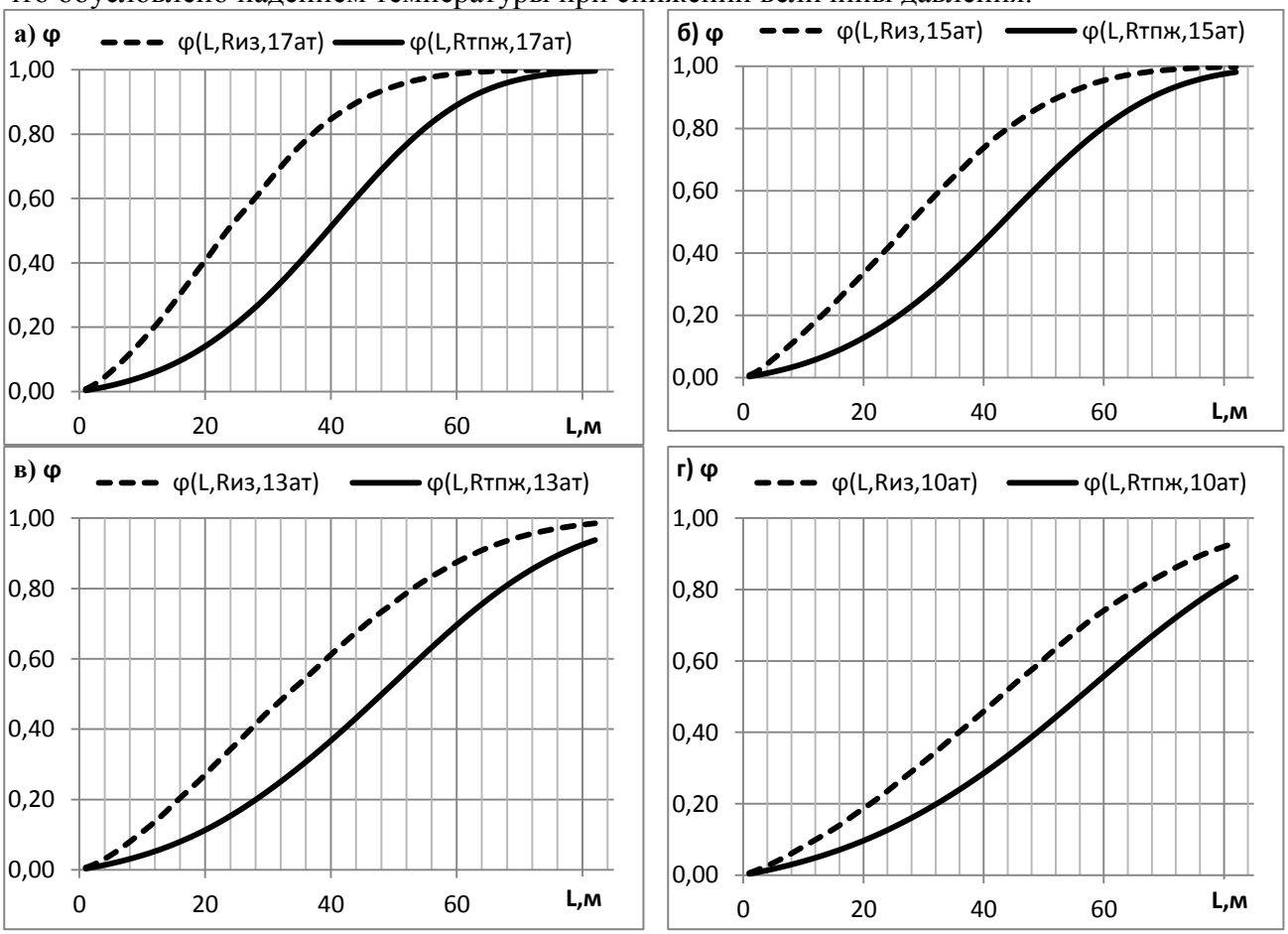


Рис. 1- Кривые зависимости степени вулканизации от давления пара Давление пара а)17ат., б) 15ат., в)13ат., г) 10ат.

Таким образом, с уменьшением давления снижается температура пара и изменяются параметры вулканизационной среды и, как следствие, меньшее количество тепла подводиться к поверхности изоляции и, следовательно, уменьшается скорость и степень вулканизации.

Общая зависимость степени вулканизации внутреннего слоя изоляции от давления представлена на *рис.2,а*. Видно, что с уменьшением давления на 40% степень сшивки уменьшается на 17%.

Стоит отметить, что чем больше величина давления, и, следовательно, температуры, тем выше скорость сшивки, реализуемая в первой половине вулканизационной трубы, при этом кривая сшивки выходит на стационар на меньшей длине .

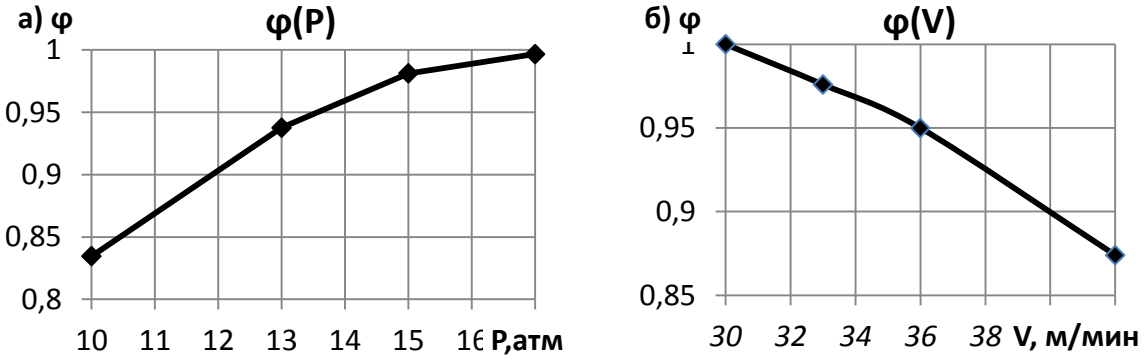


Рис. 2- Зависимость степени вулканизации внутреннего слоя: а) от давления; б) от линейной скорости.

На следующем этапе исследований рассматривалось влияние скорости изолирования при неизменных остальных условиях (табл. 1). Исследовался диапазон скоростей 30-42м/мин.

Видно, что при увеличении скорости изолирования степень сшивки снижается (*рис.2,б)*, что связано с сокращением времени пребывания изоляции в вулканизационной трубе и, как следствие, уменьшением времени нагрева. Так при увеличении скорости на 12 м/мин (на 40%) от начальной, степень вулканизации снизилась на 13%,

Вывод.

В ходе работы была разработана математическая модель процесса вулканизации резиновой изоляции, позволяющая анализировать влияние различных факторов на величину степени сшивки.

Анализ полученных результатов позволил сделать следующие выводы: на степень вулканизации заметно влияют такие параметры, как скорость линии и давление в вулканизационной трубе. Таким образом, для получения наиболее качественного кабельного изделия с вулканизированной изоляцией необходимо разрабатывать технологический режим, учитывающий влияние обоих факторов. То есть, при снижении давления среды, следует уменьшить скорость, тем самым скомпенсировав недостаточный подвод тепла к поверхности изоляции.

Список литературы

1. ГОСТ 24334-80. Кабели силовые для нестационарной прокладки.
2. *Мамбетова Е.А., Труфанова Н.М.* Математическое моделирование температурных полей и степени вулканизации в процессе вулканизации типичных кабельных изделий // «Вестник ПНИПУ. Электротехника, информационные технологии, системы управления». 2012. №6. С.152 – 158.
3. *Труфанова Н.М., Пасынков Д.П.* /Математическая модель и численный анализ процесса вулканизации резиновой изоляции кабелей// «научно-технический вестник Поволжья». 2014 №5 С. 304-307
4. *V. Schuppner, S. Brockhaus, C. Penner, J. Mцckel ,Gerlach Maschinenbau* / The effects of operational parameters in hot-air vulcanization// International Polymer Science and Technology, 43, No. 7, 2015
5. *Ключников Я. О., Ключников О. Р., Макаров Т. В., Вольфсон С. И.* / Кинетика и механизм вулканизации бутадиен-нитрильного каучука пара-динитрозобензолом // Вестник Казанского технологического университета 2011 № 15 с. 107-110
6. *В. И. Молчанов, О. В. Карманова, С. Г. Тихомиров, Ю. В. Пятаков, А. В. Касперович* /Моделирование кинетики неизотермической вулканизации массивных резиновых изделий// Труды БГТУ 2014 №4. Химия, технология органических веществ и биотехнология.
7. IAPWS R7-97(2012). The International Association for the Properties of Water and Steam

05.13.18

Н.М. Труфанова, А.В. Козьминых, Н.А. Костарев

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
электротехнический факультет, кафедра Конструирование и технологии в электротехнике,
Пермь, ktei@pstu.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЕЛИЧИНЫ ДЕБИТА И ТЕМПЕРАТУРЫ ЗАБОЯ НА ТЕМПЕРАТУРНОЕ ПОЛЕ СКВАЖИНЫ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-4-205-207

В данной работе исследован процесс тепломассопереноса в нефтяной скважине. Численная реализация разработанной математической модели осуществлялась методом конечных элементов в среде Ansys 15. Исследовано влияние температуры забоя и дебита скважины на длину участка выпадения парафина. Построены зависимости распределения температуры на стенке НКТ по длине скважины от температуры забоя и дебита скважины.

Ключевые слова: *Скважина; асфальтосмолопарафиновые отложения; метод конечных элементов; температура забоя; дебит.*

В настоящее время одной из проблем нефтепромысла является образование асфальтосмолопарафиновых отложений (АСПО), которые приводят к снижению производительности системы и эффективности работы насосных установок. Кроме того накопление АСПО в проточной части оборудования и на внутренней поверхности труб приводит к уменьшению межремонтного периода работы скважин.

Решению обозначенной проблемы образования АСПО посвящены ряд работ: С.М. Купцова, Tarom N., Hossain M.M.[1,2], где температурное поле в скважине определено либо аналитически, с использованием инженерных методик или рассматривались математические модели течения и теплообмена в одномерной постановке.

В данной работе рассматривается процесс тепломассопереноса в нефтяной скважине в двумерной постановке. Рассматривалось продольное сечение скважины глубиной 2000м.

Конструкция скважины изображена на рис. 1.

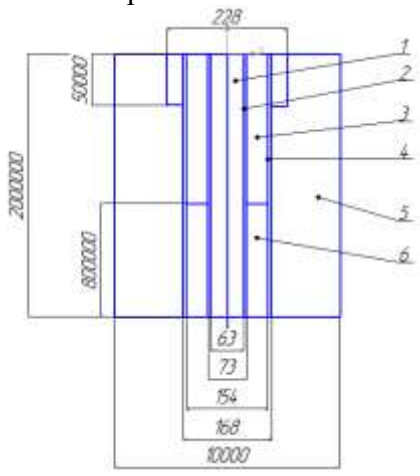


Рис. 1. Конструкция нефтяной скважины.

1 - Нефтяная жидкость, которая добывается насосно-компрессорной трубой. 2 - Насосно-компрессорная труба (НКТ). 3 - Воздух в затрубном пространстве. 4 - Обсадная колонна. 5 - Грунт, окружающий скважину. 6 - Нефтяная жидкость, в затрубном пространстве.

Целью исследования процесса тепломассопереноса в нефтяной скважине было определение влияния температуры забоя, величины дебита на характер течения и теплообмена и интенсивность парафинообразования.

Математическая модель движения и теплопереноса в нефтяной скважине основывается на законах сохранения массы, количества движения и энергии.

Допущения: задача плоская, стационарная, течение ламинарное, теплофизические свойства твердых материалов и нефтяной жидкости не зависят от температуры, бесконечный массив земли заменен ограниченной областью, нефтяная жидкость - однородная среда.

Система дифференциальных уравнений, описывающая процесс тепломассопереноса [4] решалась методом конечных объемов в среде ANSIS.

Влияние температуры забоя на температурное поле скважины.

На Рис. 2 представлено температурное поле скважины при Тз = 100°С. Из рисунка видно, что температура по высоте скважины изменяется от 100°С до 15°С в устье. Изменение температуры неравномерное – в центре НКТ температура всегда больше.

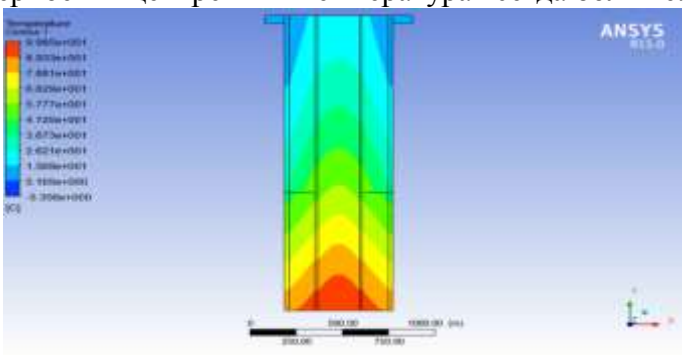


Рис. 2. Температурное поле скважины при $T_З$ = 100°С

Распределение температуры на стенке НКТ для скважин с различной температурой забоя приведено на рис. 3. Несмотря на существенную разницу по температурам в забое (от 200 до 70°С), разброс температур в устье лежит в пределах 30°С. Однако при этом существенно отличаются участков выпадения парафинов.

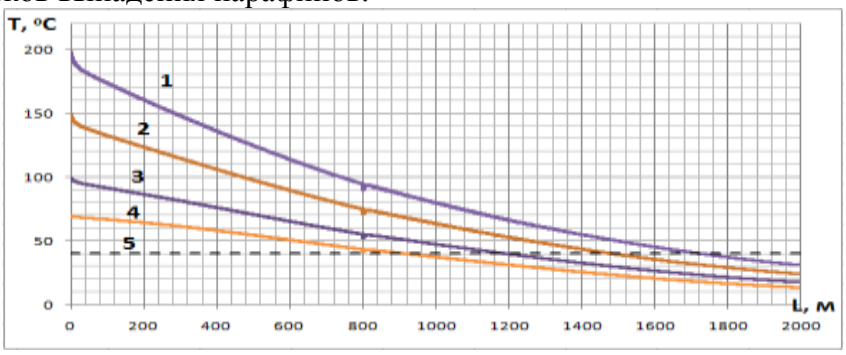


Рис. 3. Распределения температур на стенке насосно-компрессорной трубы по глубине для скважин с различной температурой забоя. 1 – Тз = 200°С, 2 – Тз = 150°С, 3 – Тз = 100°С, 4 – Тз = 70°С, 5 – Т выпадения парафина.

На рис 4. показано влияние температуры забоя на длину участка выпадения парафинов. По результатам исследования видно, что чем больше величина температуры забоя, тем меньше участок отложения парафина. Длина участка варьируется от 1000 до 200 *м*. Так при температуре забоя 100°С парафины образуются на глубине 800 м, при температуре забоя 200°С - на глубине 300 м. Увеличение температуры забоя в 2 раза уменьшило длину участка отложения парафинов в 2,5 раз.

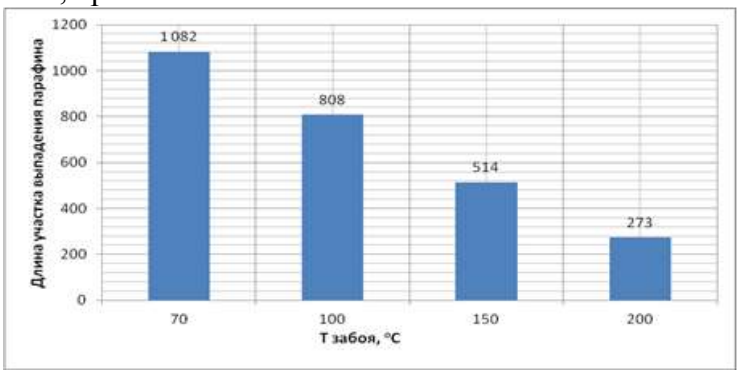


Рис. 4. Зависимость длины участка выпадения парафина от температуры забоя.

Влияние величины дебита на температурное поле скважины.

Распределение температуры на стенке скважины по длине при различных значениях дебита приведено на рис. 5, а величины длин участков выпадения парафинов - на рис. 6. Видно, что чем больше дебит скважины, тем выше температура в скважине и тем меньше длина участка отложения парафинов. Данные результаты объясняются тем, что при большем дебите нагретые слои нефти интенсивнее поднимаются к устью скважины.

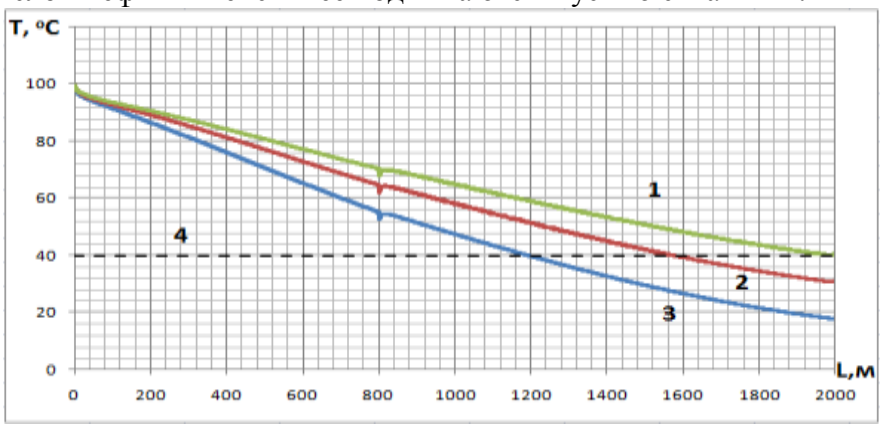


Рис. 5. Распределения температур на стенке насосно-компрессорной трубы по глубине для скважин с различным дебитом. 1 – Q = 80т/сут, 2 – Q = 60 т/сут, 3 – Q = 40 т/сут, 4 – температура выпадения парафина.

При величине дебита 40 т/сут парафины образуются на глубине 800 м, при величине дебита 80 т/сут - на глубине 50 м. Увеличение величины дебита в 2 раза уменьшило длину участка отложения парафинов в 16 раз.

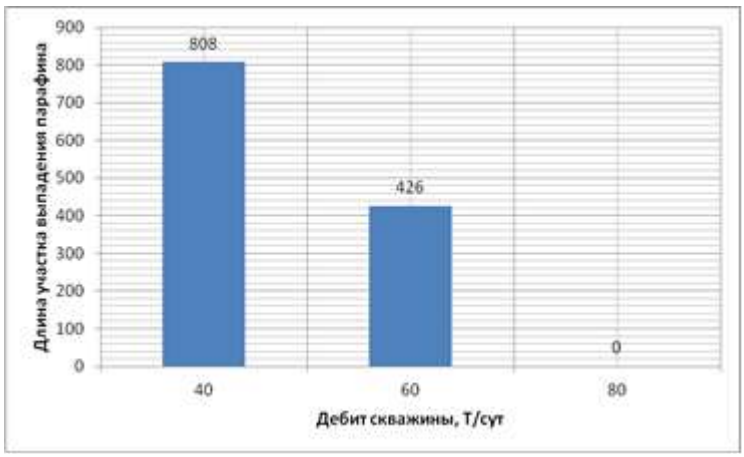


Рис. 6 Зависимость длины участка выпадения парафина от дебита скважины.

Таким образом, согласно полученным результатам, можно сделать вывод о том, что величина дебита наиболее существенно влияет температурное поле в скважине и, как следствие, на длину участка выпадения парафинов.

Список литературы

1. *Купцов С.М.* Температурное поле эксплуатационной скважины // Техника и технология добычи нефти, №9, 1997, с. 122 – 129.

2. *Tarom N., Hossain M.M.*. Using ANSYS to Realize a Semi-Analytical Method for Predicting Temperature Profile in Injection/Production Well // World Academy of Science, Engineering and Technology 72 2012

3. Исследование процесса тепломассопереноса в нефтяной скважине / Н. М. Труфанова, Н. А. Костарев // Научно-технический вестник Поволжья. - 2015. - № 4. - С. 126-130., ВАК

05.13.18

Н.М. Труфанова, В.Э. Салаватов

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
электротехнический факультет,
кафедра Конструирование и технологии в электротехнике,
Пермь, ktei@pstu.ru

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЙ ОБОГРЕВА НА ТЕМПЕРАТУРНОЕ ПОЛЕ В ЖИЛОЙ КОМНАТЕ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-4-208-211

В работе на основе численного моделирования рассмотрены способы обогрева жилого помещения. Расчеты проведены с использованием программного комплекса ANSYS, методом конечных элементов. Получены поля температур при обогреве с помощью радиаторной батареи, теплого электрического пола и теплового электрического плинтуса. Цель исследования: определение эффективности различных способов обогрева.

Ключевые слова: *Метод конечных элементов, тепломассоперенос, способы обогрева, температурное поле.*

На сегодняшний день для поддержания комфортной температуры жилой комнаты существует много различных способов обогрева: теплым полом, теплым плинтусом и самое простое и распространенное радиаторные батареи. Преимуществом модифицированных электрических систем отопления помещений является повышение эффективности обогревателей помещений [2].

В настоящее время наиболее распространённый вариант модифицированного отопления является подогреваемый пол (теплый пол). Электрические тёплые полы, в зависимости от исполнения, могут быть: кабельные, пленочные, стержневые и на основе аморфной металлической ленты [5].

Вторым вариантом модифицированных систем отопления помещений является электроплинтус. Этот вариант теплого плинтуса работает от электрического ТЭНа мощностью 200 Вт/м.

На рис.1 изображен объект исследования - жилая комната площадью 16,5 м^2 и объемом 42,9 м^3 с окном.

Математическая модель движения и теплопереноса воздуха с учетом естественной конвекции основывается на законах сохранения массы, количества движения и энергии [3,4].

При создании модели сделаны следующее допущения:

1) поверхность пола нагревается равномерно;
2) радиаторная батарея плоская;
3) течение воздушных масс ламинарное;
4) стены комнаты являются адиабатическими поверхностями.

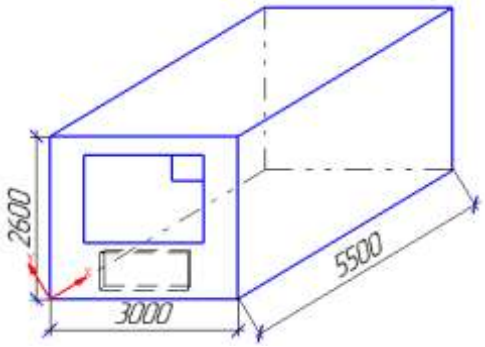


Рис.1 Жилая комната.

С учетом сделанных допущений процессы теплопереноса в жилом помещении описываются системой дифференциальных уравнений включающих в себя уравнения движения воздуха (1)-(3), уравнение неразрывности (4), уравнение энергии (5), уравнение состояния (5).

$$\frac{\partial U_x}{\partial \tau}+U_x\frac{\partial U_x}{\partial x}+U_y\frac{\partial U_x}{\partial y}+U_z\frac{\partial U_x}{\partial z}=-\frac{1}{\rho}\left(\frac{\partial P}{\partial x}+\mu\Delta U_x\right) \quad (1)$$

$$\frac{\partial U_y}{\partial \tau}+U_x\frac{\partial U_y}{\partial x}+U_y\frac{\partial U_y}{\partial y}+U_z\frac{\partial U_y}{\partial z}=-\frac{1}{\rho}\left(\frac{\partial P}{\partial y}+\mu\Delta U_y\right), \quad (2)$$

$$\frac{\partial U_z}{\partial \tau}+U_x\frac{\partial U_z}{\partial x}+U_y\frac{\partial U_z}{\partial y}+U_z\frac{\partial U_z}{\partial z}=-\frac{1}{\rho}\left(\frac{\partial P}{\partial z}+\mu\Delta U_z\right)+g\beta(T-T_0) \quad (3)$$

$$\rho c\left(\frac{\partial t}{\partial \tau}+U_x\frac{\partial t}{\partial x}+U_y\frac{\partial t}{\partial y}+U_z\frac{\partial t}{\partial z}\right)=\lambda\Delta t \quad (4)$$

Плотность воздуха зависит от температуры по закону Буссинеска:

$$\rho(T)=\rho_0[1-\beta(t-t_0)], \quad (5)$$

где x, y, z – декартовые координаты; U_x, U_y – компоненты вектора скорости воздуха в канале; t – температура, °С; P – отклонения давления воздуха от гироскопического; g – ускорение свободного падения; ρ, μ, λ – плотность, вязкость и теплопроводность воздуха; ρ_0 – плотность воздуха при температуре t_0=20°С, β – температурный коэффициент плотности воздуха 1/°С;

Граничные условия: на поверхности пола задавалась температура 27 ˚С , на плинтусе 40˚С, на радиаторной батарее- 60˚С, в области оконного проема -12˚С, на стеновых поверхностях -16˚С. В начальный момент времени температура в помещении была равной 17 ˚С.

Система уравнений (1)-(5) решалась методом конечных элементов в системе автоматизированных инженерных расчетов ANSYS Fluent [1]. Построение геометрии и разбиение расчетной области на элементы проводилась в среде ICEM CFD.

Анализ сходимости итерационного процесса позволил определить необходимое число итераций -80 и необходимое колличество узлов элементов -185 000 .

Обогрев помещения радиаторной батерей. Задача решалась без учета и с учетом движения воздуха.

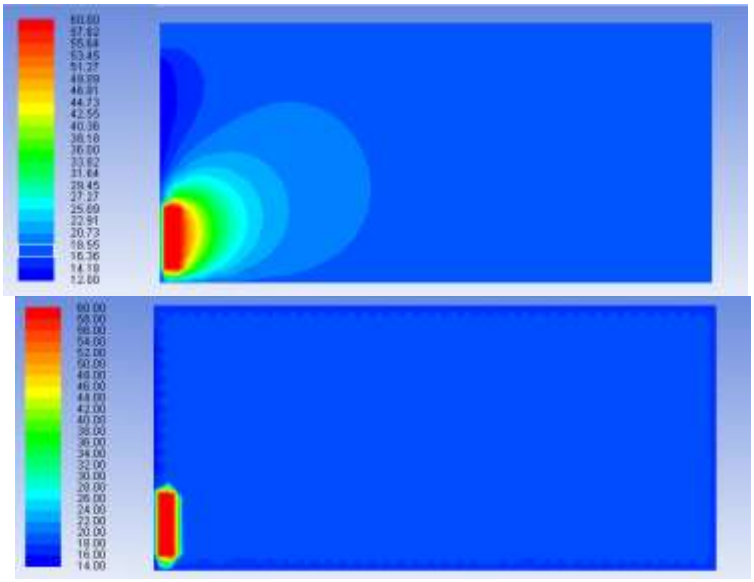


Рис.2 Распределение температуры при нагреве от батареи без учета движения воздуха и с его учетом, соответственно.

Свойства воздуха приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Элемент	Материал	Плотность, ρ ($кг/м^3$)	Удельная теплоемкость, C ($Дж/(кг \cdot C)$)	Теплопроводность, λ ($Вт/(м \cdot C)$)
Среда	Воздух	1,225	1006,43	0,0242

В первом случае температура в центре помещения составила 16,5˚С, а во втором 18˚С. Во втором случае температура в помещении распределена достаточно равномерно и нет вырожденного влияния охлаждающего воздействия оконного проема. Таким образом можно отметить существенное влияние конвекции на температурное поле в помещении и важность его учета при решении подобных задач. Максимальная скорость воздуха составила 0,11 м/с и определена в области окна.

Далее рассматривался случай обогрева жилой комнаты теплым полом,

температура на поверхности пола 27 ˚С , потребляемая мощность при этом составляет 150 Вт/м. Температурные поле представлено на рис.3.



Рис.3. Распределение температуры при обогреве комнаты теплым полом с учетом конвекции воздуха.

С учетом движения воздуха средняя температура составляет 18,5˚С. Скорость воздуха равна 0,04 м/с .

При обогреве комнаты с помощью электрического теплового плинтуса, (температура плинтуса 40˚С) , потребляемая мощность составляет 200 Вт/м . Размеры плинтуса 140х30 мм.

Результаты расчета приведены на рис.4. Видно, что температурное поле в серединном сечении комнаты достаточно равномерно. Средняя температура составила 19˚С. Максимальная скорость воздуха составила 0,087 м/с .

Решение нестационарной задач и тепломассопереноса для начальной температуры в помещении 17˚С позволило определить время достижения

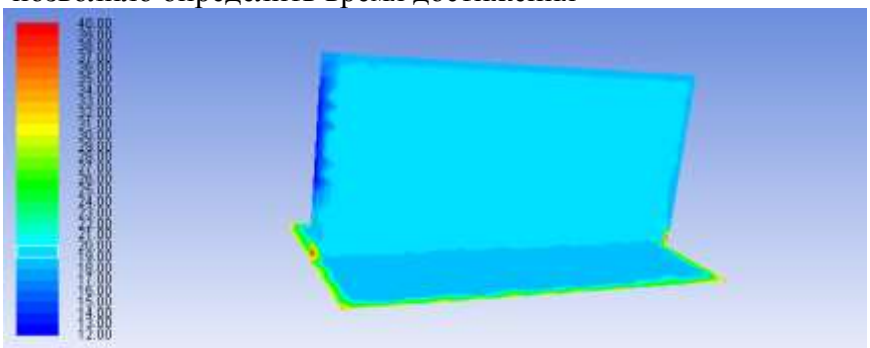


Рис.4. Распределение температуры при обогреве комнаты теплым плинтусом с учетом движения воздуха.

комфортной температуры в 20˚С и время охлаждения для различных способов электрического обогрева. После достижения заданной температуры нагревательные элементы отключались, а при достижении средней температуры 17˚С включались снова. Такой циклический нагрев представлен на рис.5 и рис.6.

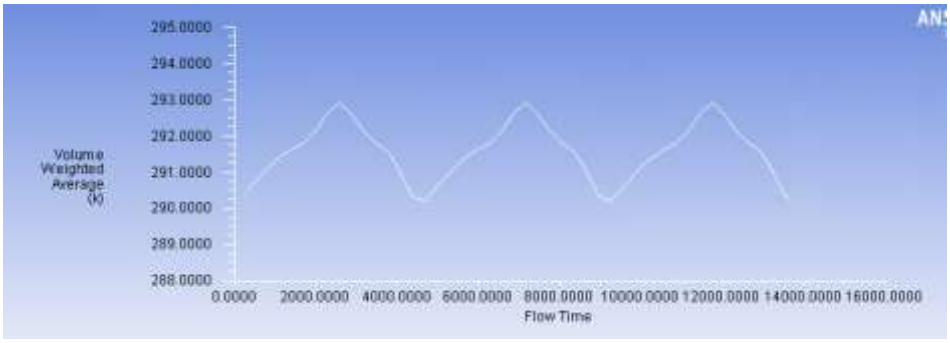


Рис.5. Обогрев теплым полом. Распределение средней температуры в зависимости от времени.

В случае с теплым кабельным полом комната обогревалась за 35 минут, а после отключения температура снижалась до 17˚С за 40 минут.

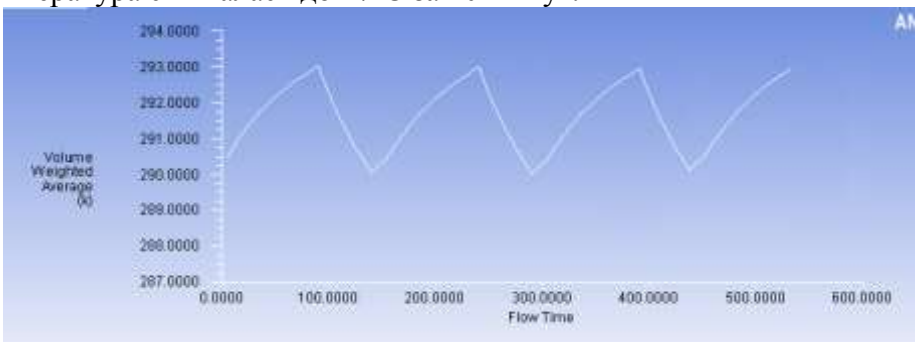


Рис.6. Обогрев теплым плинтусом. Распределение средней температуры в зависимости от времени.

Плинтус же достигает того же результата обогрева за 1 час 30 минут. Это объясняется тем, что плинтус имеет меньшую площадь нагрева. А снижалась температура за 50 минут.

Отличительными особенностями теплого пола является большая площадь нагрева и низкое расположение поверхности нагрева. Это способствует более равномерному распределению температуры по горизонтали и вертикали по сравнению с радиаторными источниками отопления, сосредоточенными в небольших зонах выше уровня пола. Равномерное распределение тепла по вертикали позволяет использовать более низкие температуры теплоносителя. В случае обогрева помещения теплым полом в сравнении с обогревом теплым плинтусом при одинаковой тепловой картине температура пола ниже, чем температура плинтуса и как следствие ниже потребляемая мощность.

Список литературы

1. *Чигарев А.В., Кравчук А.С., Смалюк А.Ф.* ANSYS для инженеров. Справочное пособие. – М.: Машиностроение, 2004. – 512 с.
2. *Qian Wang, Adnan Ploskic, Sture Holmberg.* Ventilation heat recovery jointed low-temperature heating in retrofitting—An investigation of energy conservation, environmental impacts and indoor air quality in Swedish multifamily houses.// Journal of Energy and Buildings. 2016, page 250-264.
3. *Навалихина Е.Ю., Труфанова Н.М.* Математическое моделирование тепловых и электромагнитных процессов при определении допустимых токовых нагрузок кабельных линий / Е.Ю.Навалихина, Н.М.Труфанова // Известия Томского политехнического университета. –2014. – Т.325. – №4. – С. 82–90.
4. *Труфанова Н.М., Навалихина Е.Ю.* Математическое моделирование и управление пропускной способностью кабельных линий в подземном канале // Электротехника. – 2012. №11. С. 11–14.
5. *Повный А.А.* Электрические теплые полы. Издательство: Самиздат, 2010 - 99 с.

05.13.06

[1]Ф.П. Фадеев, [1]И.А. Шмидт, [2]К.А. Мехоношин

[1]ФГБОУ ВО Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
[2]Акционерное общество «Авиадвигатель»
Пермь, fadeefffedor1995@yandex.ru, shmidt.i@pochta.ru
mehon-ka@mail.ru

АВТОМАТИЗАЦИЯ БИЗНЕС-ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ И ОТПРАВКИ ЗАЯВКИ НА ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ИЗМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-4-212-214

В настоящей статье рассматриваются проблемы внедрения электронного документооборота на примере бизнес-процесса изготовления нового образца технологической оснастки. Проведен анализ существующего процесса, обозначены основные недостатки и предложен вариант нового процесса с использованием PLM-системы «SiemensTeamCenter».

Ключевые слова: *автоматизация, бизнес-процесс, PLM-система, конструкторская документация, SiemensTeamCenter».*

При производстве частей машин и механизмов на производстве зачастую необходимо использовать технологическую оснастку (ТО). ТО - совокупность приспособлений для установки и закрепления заготовок и инструмента, выполнения сборочных операций, транспортирования заготовок, полуфабрикатов, деталей или изделий [1].

Существующий бизнес-процесс (рис. 1) условно можно разделить на четыре подпроцесса:

1. Оформление и утверждение заявки на производство ТО.
2. Разработка конструкторской документации (КД) для производства ТО.
3. Изготовление.
4. Хранения заявок в Архиве.

Рассмотрим бизнес-процесс производства ТО. В ходе проектирования технологического процесса (ТП) технолог может столкнуться с необходимостью использования новой ТО. В этом случае он оформляет заявку на изготовление, которая передается для согласования. Согласование происходит в два этапа, вначале заявка утверждается начальником технического отдела, а затем технического бюро, в противном случае она возвращается на доработку.Дальше начальник конструкторского бюро назначает исполнителя и срок исполнения, делопроизводитель выпускает служебную записку на проектирование КД и извещение и принятии заявки в работу. Конструктор разрабатывает чертеж ТО, согласовывает его с технологом, начальником цеха-заказчика и начальником КО КБ, проходит нормоконтроль и метрологическую экспертизу, начальник отдела производства ТО утверждает КД на ТО. Делопроизводитель отдела выпускает извещение о создании или изменении КД на ТО. Далее КД отправляется для изготовления. Параллельно с этим, весь пакет документов поступает в архив на хранение.



Рис. 1 – Принципиальная блок-схема существующего бизнес-процесса

При анализе бизнес-процесса, были выявлены следующие недостатки:

1. «Бумажный» документооборот.
2. Простой и «пролёживание»
3. Сложные и громоздкие процессы согласования документации.
4. Отсутствие прозрачности.

В целом, процесс представляет собой громоздкий и неповоротливый механизм, для нормального функционирования которого требуется большое количество ресурсов. Одним из вариантов решения проблемы является внедрение элементов PLM-системы для данного[2].

Использование PLM-системы решает следующие проблемы[3]:

1. Обеспечение разграниченного доступа к документам
2. Возможность наблюдения документа.
3. Сокращение времени на отправку и согласование документов,
4. Централизованное хранение документов в электронном виде.

Решением проблемы является использование PLM-системы «SiemensTeamCenter» , которая обладает следующими преимуществами:

1. PLM-система «SiemensTeamCenter»внедряется на предприятии с 2004 года.
2. Система позволяет формализовать и алгоритмизировать все стадии проектирования и изготовления ТО.
3. Работа с документом в режиме реального времени.
4. Использование электронных оригиналов документов.
5. Возможность организации связи документов между собой.
6. Возможность использования стандартнойCAD-системы «SiemensNX», М).

Блок-схема предлагаемого бизнес-процесса изображена на Рис. 2.

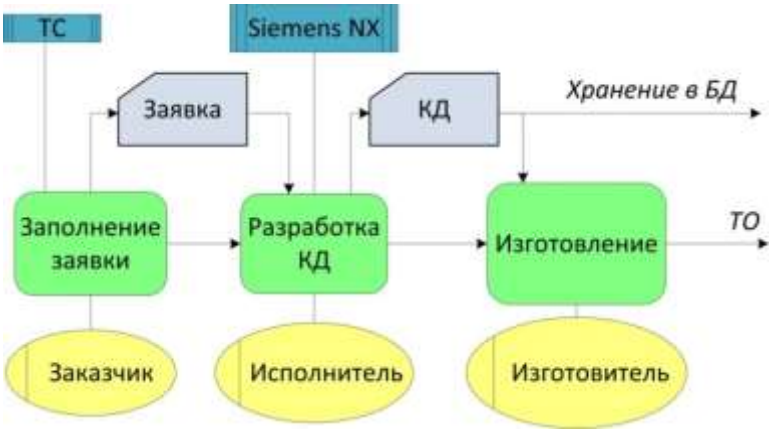


Рис. 2 – Принципиальная блок-схема предлагаемого бизнес-процесса

Для осуществления внедрения предложенного бизнес-процесса, необходимо расширение функционала «TeamCenter» путем написания плагина. За его написание и внедрение отвечает отдел развития информационных технологий предприятия. На основании решения руководства предприятия и технического задания на разработку плагина, начальник отдела вносит задание на разработку в план и назначает исполнителей. Далее ТЗ поступает к команде программистов отдела, которые разрабатывают отдельные классы, методы и формы, а также проводят их тестирование. После тестирования, все компоненты соединяются воедино посредством программы «TeamFondation»и также производится тестирование, разрабатывается руководство по эксплуатации, обучение персонала и выпуск решения о проведении опытно-промышленной эксплуатации. Для этого плагин внедряется в систему «TeamCenter»,использует базу данных предприятия, при этом находится на особом контроле, изучается корректность его работы и вносятся изменения. После проведения ОПЭ, администратор системы «TeamCenter» на основании приказа о промышленной эксплуатации, осуществляет полноценное внедрение плагина в систему [6].

Блок-схема процесса внедрения плагина приведена на рисунке 3.

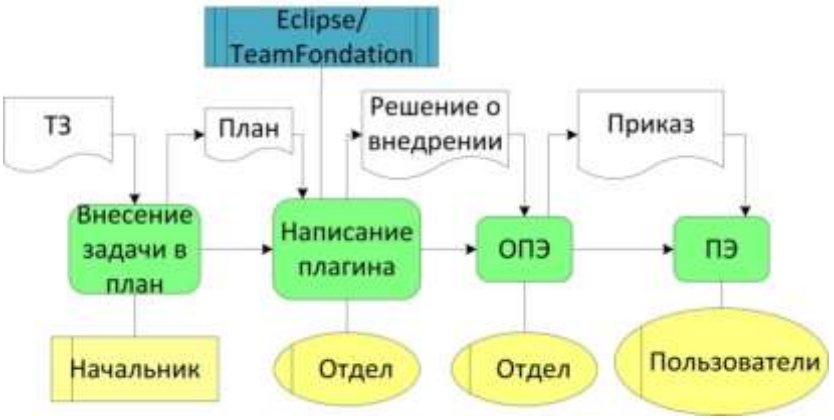


Рис. 3 – Блок-схема процесса внедрения плагина для «TeamCenter»

Таким образом, можно сделать вывод, что данные изменения бизнес процессов являются сложной организационно-технической задачей. Внедрение их в систему поддержки технической и административной деятельности предприятия позволят сократить затраты времени и материальных ресурсов при проектировании ТО, что приведет к повышению качества выпускаемой продукции.

Список литературы

1. ГОСТ 31.0000.01-90 Технологическая оснастка. Основные положения
2. ГОСТ Р ИСО 10007-2007. Руководящие указания по управлению конфигураций - Москва стандартинформ, 2008
3. *Юсуфова Ф.К.* Автоматизация процессов управления внесения изменений в конструкторскую документацию изделий на основании технологии WorkFlow// Электронный научно-практический журнал "Современные научные исследования и инновации"-2014. №6.
4. *Воронцов А.В., Костюхов В.Д. и др.* Проблемы внедрения информационных технологий на производственных предприятиях // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2006. № 1. С. 56-63.
5. *Валетов И.И., Шмидт И.А.* Интегрированная информационная среда поддержки жизненного цикла авиационного двигателя в части анализа логической поддержки.//Журнал "Фундаментальные исследования" - 2016. № 11-3. С. 495-499
6. *Шмидт И. А., Бормалев С. В., Мехоношин К. А.* Концепция управления конфигурацией и организацией технологической подготовки сборочного производства авиационных двигателей // Вестник Московского авиационного института. 2017, Т.24, №2, С. 123-131.

05.13.18

М.К. Хасанов

Стерлитамакский филиал Башкирского государственного университета,
кафедра прикладной информатики и программирования,
Стерлитамак, hasanovmk@mail.ru

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ ГАЗОГИДРАТА СЕРОВОДОРОДА ПРИ ЕГО ИНЖЕКЦИИ В ПЛАСТ, НАСЫЩЕННЫЙ НЕФТЬЮ И ВОДОЙ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-4-215-218

Представлена математическая модель образования газогидрата H_2S при закачке жидкого сероводорода в природный пласт, насыщенный нефтью и водой. Показано, что при достаточно высоких значениях массового расхода инжекции сероводорода температура на фронте гидратообразования может подниматься выше равновесной температуры разложения газогидрата H_2S.

Ключевые слова: *математическая модель, сероводород, нефть.*

Введение. В настоящее время в целях снижения эмиссии в атмосферу вырабатываемого промышленными объектами сероводорода практикуется его подземное захоронение в истощенных месторождениях углеводородов [1,2]. Одним из способов уменьшения риска выхода утилизируемого газа на поверхность представляется его перевод в газогидратное состояние, которое по сравнению со свободным состоянием, позволяет хранить одинаковое количество газа при значительно меньших давлениях [3,4].

В настоящей работе исследуется математическая модель образования гидрата H_2S при закачке жидкого сероводорода в пласт, насыщенный нефтью и водой.

Постановка задачи. Пусть горизонтальный пористый пласт в начальный момент насыщен водой с исходной насыщенностью S_{w0} и нефтью, давление p_0 и температура T_0 которых в исходном состоянии соответствуют условиям образования газогидрата сероводорода. Положим, что через скважину, вскрывшую пласт на всю толщину, закачивается жидкий сероводород.

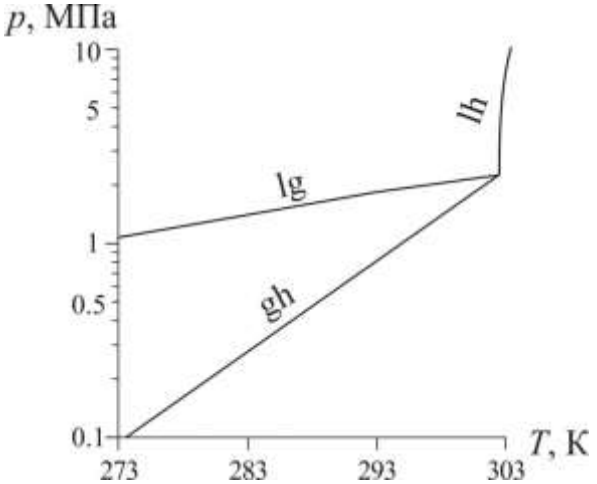


Рис. 1. Фазовая диаграмма системы «H_2S-H_20».

Условия существования газогидрата сероводорода показаны на фазовой диаграмме (рис.1) [5]. На данной диаграмме кривая *gh* определяет трехфазное равновесие между водой, газообразным сероводородом и его газогидратом, кривая *lh* – равновесие между водой, жидким сероводородом и его газогидратом, а кривая *lg* – двухфазное равновесие между жидким и газообразным сероводородом. Соответственно газогидрат сероводорода существует левее кривых *gh* и *lh.*

В данной работе будем считать воду неподвижной (т.к. рассматривается случай когда исходная водонасыщенность пласта не превышает 0.2), а вытеснение нефти жидким сероводородом считать поршневым. Тогда пренебрегая кинетикой процесса гидратообразования можно полгать, что газогидрат сероводорода образуется на фронтальной поверхности вытеснения нефти жидким сероводородом. В этом случае в пласте образуются две характерные области. В первой (ближней) области поры насыщены жидким сероводородом и его газогидратом, а во второй (дальней) области поры насыщены нефтью и водой.

Основные уравнения. Для описания процессов тепломассопереноса при закачке H_2S в пористый пласт примем следующие допущения. Скелет пористой среды, вода и газогидрат несжимаемы и неподвижны, пористость постоянна, сероводород и нефть являются упругими жидкостями.

Система основных уравнений, описывающая процессы фильтрации и теплопереноса в пористой среде представляет собой законы сохранения масс и энергии, закон Дарси и уравнение состояния:

$$\frac{\partial}{\partial t}\left(\rho_i m S_i\right)+\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(r\rho_i m S_i \upsilon_i\right)=0,\quad \rho c\frac{\partial T}{\partial t}+\rho_i c_i m S_i \upsilon_i \frac{\partial T}{\partial r}=\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(r\lambda\frac{\partial T}{\partial r}\right),$$

$$m S_i \upsilon_i=-\frac{k_i}{\mu_i}\frac{\partial p}{\partial r},\quad \rho_s=\rho_{0s}\exp\left(\beta_s(p-p_0)\right),\quad \rho_l=\rho_{0l}\left(1+\beta_l(p-p_0)\right). \quad (1)$$

Здесь t – время; r – радиальная координата; m– пористость; p –давление; T – температура; нижние индексы i=s, l относятся соответственно к параметрам сероводорода и нефти; ρ_i – плотность; k_i – фазовая проницаемость; υ_i – действительная средняя скорость; c_i – удельная теплоемкость; μ_i – динамическая вязкость; ρC и λ – эффективные значения объемной теплоемкости и коэффициента теплопроводности насыщенного пласта. Поскольку основной вклад в значения ρC и λ вносят соответствующие параметры горной породы, то в дальнейшем будем считать их постоянными величинами.

Зависимость коэффициента фазовой проницаемости k_i от насыщенности S_i и абсолютной проницаемости k_0 зададим на основе формулы Козени: $k_i = k_0 S_i^3$ (i = s, l).

На границе между областями выполняются соотношения, следующие из условий баланса массы и тепла:

$$m\rho_s S_s(\upsilon_s - V_n)=m\rho_h S_h G V_n,\quad m\rho_l S_l(\upsilon_l - V_n)=0,$$

$$mS_h\rho_h(1-G)V_n = mS_{w0}\rho_w V_n,\qquad \lambda\frac{\partial T_{(1)}}{\partial r}-\lambda\frac{\partial T_{(2)}}{\partial r}=m\rho_h L_h S_h V_n, \quad (2)$$

где ρ_h, S_h и L_h – плотность, насыщенность и теплота образования газогидрата сероводорода, ρ_w и S_{w0} – плотность воды и начальная водонасыщенность пласта, V_n – скорость движения границы гидратообразования. Здесь и далее нижний индекс n относится к параметрам на границе между областями.

Будем полагать, что жидкий сероводород закачивается в пласт с постоянным массовым расходом Q (на единицу высоты скважины) и температурой T_e. Рассматривая достаточно большие времена после начала закачки сероводорода, когда радиус первой области $r_{(n)}$ значительно превышают радиус скважины r_e, можно положить, что размер скважины слабо сказывается на особенностях протекания процесса. Тогда с учетом закона Дарси условия на границе скважины имеют вид:

$$r = r_e \to 0, \quad t > 0: \quad -\frac{2k_s\pi}{\mu_s}\left(r\rho_s\frac{\partial p}{\partial r}\right) = Q, \quad T = T_e.$$

Автомодельное решение. Введем автомодельную переменную: $\xi = r/\sqrt{\chi^{(T)}t}$ (где $\chi^{(T)} = \lambda/\rho c$). Для этой переменной из (1) получим решения для давления и температуры в каждой из областей:

$$P_{(1)} = P_{(n)} + \frac{Q\mu_s\beta_s \mathrm{I}\left(\xi,\xi_{(n)};\eta_{(1)}\right)}{2\pi\rho_{0s}k_s}, \qquad T_{(1)} = T_{(n)} + \frac{\left(T_e - T_{(n)}\right)\mathrm{J}_{(1)}\left(\xi,\xi_{(n)}\right)}{\mathrm{J}_{(1)}\left(0,\xi_{(n)}\right)}, \quad (3)$$

$$p_{(2)} = p_0 + \left(p_{(n)} - p_0\right)\frac{\mathrm{I}\left(\xi,\infty;\eta_{(2)}\right)}{\mathrm{I}\left(\xi_{(\mathrm{n})},\infty;\eta_{(2)}\right)}, \qquad T_{(2)} = T_0 + \frac{\left(T_{(n)} - T_0\right)\mathrm{J}_{(2)}\left(\xi,\infty\right)}{\mathrm{J}_{(2)}\left(\xi_{(n)},\infty\right)}, \quad (4)$$

где $P_{(1)} = \exp\left(\beta_s\left(p_{(1)} - p_0\right)\right)$, $\eta_{(1)} = k_s/\mu_s m S_s \beta_s \chi^{(T)}$, $\eta_{(2)} = k_l/\mu_l m S_l \beta_l \chi^{(T)}$ и введены обозначения интегралов $\mathrm{I}(a,b;c) = \int_a^b \frac{1}{\xi}\exp\left(-\frac{\xi^2}{4c}\right)d\xi$, $\mathrm{J}_{(1)}(a,b) = \int_a^b \frac{1}{\xi}\exp\left(-\frac{\xi^2}{4} - \frac{\rho_{0s}c_s k_s}{\lambda\mu_s\beta_s}P_{(1)}\right)d\xi$, $\mathrm{J}_{(2)}(a,b) = \int_a^b \frac{1}{\xi}\exp\left(-\frac{\xi^2}{4} - \frac{\rho_{0l}c_l k_l}{\lambda\mu_l}p_{(2)}\right)d\xi$.

Координаты границы гидратообразования и значения параметров на ней определяются на основе условий (2) с учетом решений (3) и (4).

Результаты расчетов. На рис. 2 приведены зависимости температуры пласта на границе фазовых переходов (сплошная кривая) и равновесной температуры образования газогидрата сероводорода (штриховая кривая) от массового расхода инжекции сероводорода *Q*. Для параметров, характеризующих систему, приняты следующие значения: $m = 0.3$, $S_{w0} = 0.12$, $p_0 = 6$ МПа, T_e=292 К, $T_0 = 294$ К, $k_0 = 2\cdot10^{-13}$ м^2, $G = 0.24$, $\lambda = 2$ Вт/(м·К), $\rho C = 2\cdot10^6$ Дж/(К·кг), $L_\mathrm{h} = 4.1\cdot10^5$ Дж/кг, $\rho_\mathrm{h} = 1003$ кг/м^3, ρ_{0s} =890 кг/м^3, ρ_{0l} =900 кг/м^3, $\beta_s = 3\cdot10^{-9}$ Па$^{-1}$, $\beta_l = 1\cdot10^{-9}$ Па$^{-1}$, $C_\mathrm{s} = 1800$ Дж/(К·кг), $C_l = 1900$ Дж/(К·кг), $\mu_\mathrm{s} = 2\cdot10^{-4}$ Па·с, $\mu_l = 2\cdot10^{-3}$ Па·с.

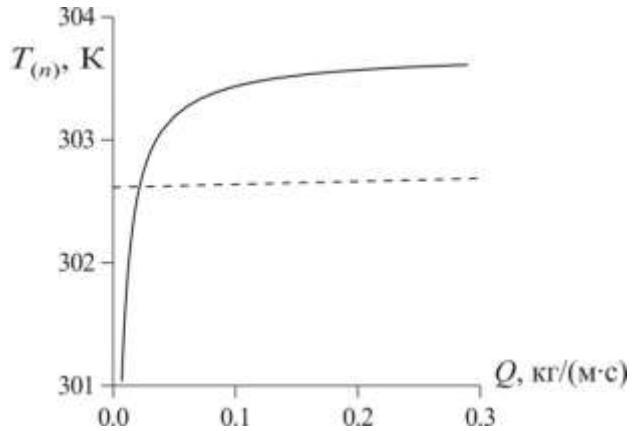


Рис. 2. Зависимость температуры на границе гидратообразования от массового расхода инжекции сероводорода.

Из рис.2 видно, что температура пласта на границе образования газогидрата увеличивается с ростом массового расхода инжекции сероводорода. Это обусловлено тем, что с повышением расхода инжекции увеличивается скорость движения границы фазовых переходов и соответственно возрастает интенсивность выделения скрытой теплоты гидратообразования. При этом, поскольку температура на скважине ниже чем температура на границе гидратообразования, то часть тепла, выделяющегося на этой границе, отводится через стенки скважины. Однако с увеличением скорости движения границы

гидратообразования интенсивность отвода тепла через стенки скважины уменьшается, что приводит к возрастанию температуры на этой границы. Вследствие этого при достаточно больших значениях массового расхода и соответственно высокой скорости движения фронта гидратообразования температура на этом фронте может превысить равновесную температуру разложения газогидрата сероводорода, что соответствует неполному переходу воды и закачиваемого жидкого сероводорода в газогидратное состояние.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Республики Башкортостан в рамках научного проекта № 17-48-020123 р_а.

Список литературы

1. *T. Xu, J. A. Apps, K. Pruess, and H. Yamamoto* Numerical modeling of injection and mineral trapping of CO_2 with H_2S and SO_2 in a sandstone formation // Chemical Geology. 2007. Vol. 242. No 3-4. P. 319-346.

2. *H. G. Machel* Geological and hydrogeological evaluation of the Nisku Q-Pool in Alberta, Canada, for H_2S and/or CO_2 storage // Oil Gas Sci. Technol. 2005. Vol. 60. P. 51-65.

3. *Чувилин Е.М., Гурьева О.М.* Экспериментальное изучение образования гидратов CO_2 в поровом пространстве промерзающих и мерзлых пород // Криосфера Земли. 2009. Т. 13. № 3. С. 70-79.

4. *Дучков А.Д., Соколова Л.С., Аюнов Д.Е., Пермяков М.Е.* Оценка возможности захоронения углекислого газа в криолитозоне Западной Сибири // Криосфера Земли. 2009. Т. 13. № 4. С. 62-68.

5. *Бык С.Ш., Макогон Ю.Ф., Фомина В.И.* Газовые гидраты. М.: Химия, 1980.

05.13.06

М.А. Чалов, А.Н. Лыков

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь, aska.sher@yandex.ru

ИНТЕРФЕЙСЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАБОЧЕГО МЕСТА НА РАЗЛИЧНЫХ УСТРОЙСТВАХ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-4-219-221

Настоящая статья посвящена проблеме создания интерфейсов автоматизированного рабочего места на различных устройствах. Были рассмотрены различные способы создания интерфейсов.В результате выявлена возможность создания интерфейсов автоматизированного рабочего места практически на любом современном устройстве благодаря технологии WebView и стандарту SVG.

Ключевые слова: *автоматизированное рабочее место, SVG, SCADA-система, HMI элементы, операционная система, WebView, браузер.*

Автоматизированное рабочее место (далее АРМ) – это аппаратные и программные средства, которые позволяют автоматизировать рабочие процессы и повысить эффективность работы сотрудников предприятия или организации. Обычно АРМ состоит из компьютера с установленным программным обеспечением и периферийных устройств [1].

Для сокращения времени принятия решений всё чаще вместо обычного персонального компьютера используется мобильный компьютер (ноутбук) или мобильные устройства (телефон, планшет). В SCADA-системах, до недавнего времени, было невозможно отображение информации на мобильных устройствах. Это произошло из-за экстенсивного развития вычислительной техники, что привело к появлению различных типов устройств с новыми операционными системами и инерционностью разработчиков SCADA-систем.

Системы оперативного диспетчерского управления и сбора данных (системы SCADA – SupervisoryControlAndDataAcquisition) являются неотъемлемой частью современных АСУ ТП и обеспечивают интерфейс между человеком и системой управления [2].

На рисунке 1 изображена упрощенная схема SCADA-системы. АРМ терминалы являются единственным компонентом системы, с которым взаимодействует управляющий персонал. В силу разнообразия устройств на которых может запускаться АРМ терминал создание интерфейсов для различных устройств является важной задачей.

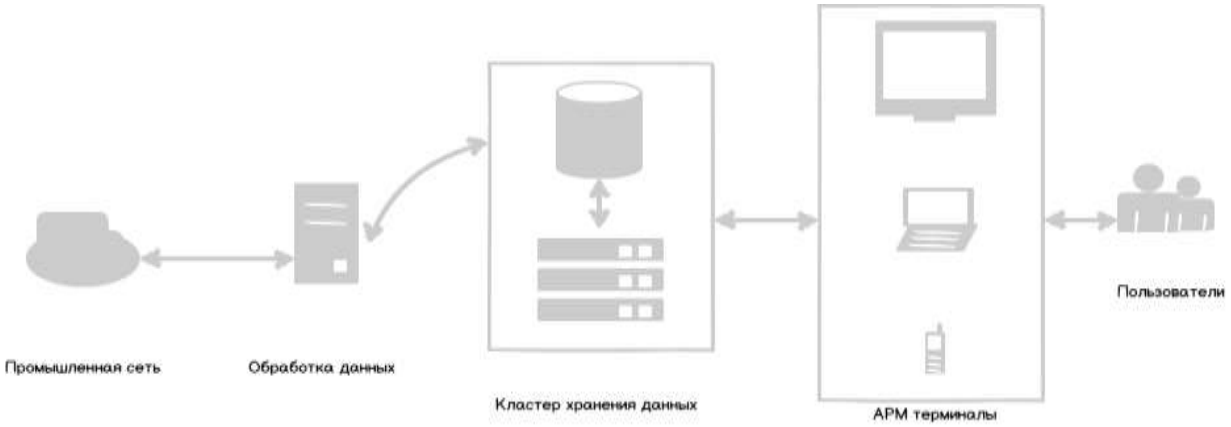


Рис.1 – Упрощенная схема SCADA-системы

Использование унифицированного подхода для отображения HMI различных SCADA-систем является важной задачей. Применение такого подхода позволит:

- запускать АРМ терминалы на различных платформах от ПК под управлением Windows или Linux, до мобильных телефонов под управлением Android, iOS, WindowsMobile и тд;
- типовые элементы HMI интерфейсов, позволят быстрее и проще организовывать рабочие места с новым оборудованием;
- снизить затраты на разработку и внедрение АРМ терминалов;
- увеличить привлекательность системы в глазах потенциальных пользователей и клиентов.

Существует ряд способов вывода графической информации на экран - использовать нативное программирование и реализовать все взаимодействие самостоятельно, использовать графические движки и библиотеки (в том числе и кроссплатформенные), использовать кросплатформенные решения для отображения графики с помощью WebView.

Для успешного применения того или иного способа, он должен удовлетворять ряду условий:

- вывод 2D графики на экран устройства;
- обновление информации на экране и анимацию элементов мнемо-схемы;
- интерактивное взаимодействие с пользователем.

Использование нативного способа для вывода графической информации на экран требует от разработчика специфичных знаний в области компьютерной графики и опыта применения этих знаний на различных платформах. Существуют библиотеки, которые упростят разработку нативной графики для различных платформ, но список поддерживаемых платформ ограничен и не обеспечивает всех потребностей.

Более простой путь - это использование в качестве основного способа отображения WebView или браузер.

Для веб-сайтов существует SVG, (от англ. ScalableVectorGraphics — масштабируемая векторная графика) — язык разметки масштабируемой векторной графики, созданный Консорциумом Всемирной паутины (W3C) и входящий в подмножество расширяемого языка разметки XML, предназначен для описания двумерной векторной и смешанной векторно/растровой графики в формате XML. Поддерживает как неподвижную, так и анимированную интерактивную графику — или, в иных терминах, декларативную и скриптовую[4].

SVG включает в себя три типа объектов: фигуры, изображения и текст. SVG существует с 1999 года, а с 16 августа 2011 включена в рекомендации W3C[5].

SVG сильно недооценена разработчиками, хотя имеет несколько важных преимуществ:

- Масштабирование. В отличие от растровой графики, SVG не теряет качества изображения при масштабировании, поэтому ее удобно использовать для разработки под retina или других экранах высокого разрешения.
- Стайлинг и скриптинг. При помощи CSS можно менять параметры графики на сайте, например фон, прозрачность или границы.
- Анимация и редактирование. При помощи javascript можно анимировать SVG, а также редактировать в текстовом или графическом редакторе (InkScape или AdobeIllustrator).
- Малый размер. Объекты SVG весят намного меньше растровых изображений.

SVG графика позволит отображать HMI элементы без искажений и трансформаций, а использование javascript позволит добавить в мнемосхему анимации и обновление значений.

Применение вышеописанного подхода, позволит реализовать интерфейс АРМ терминала с анимацией элементов и обновлением значений. А для его реализации не потребуются специфические навыки и знания.

Одним важных вопросом остается вопрос совместимости и доступности такого подхода. В таблице 1 приведены различные виды браузеров и версии, с которых начинается поддержка SVG этими браузерами, а также процент пользователей, использующих данный браузер с указанной версии и выше. Данные о версиях и о пользователях приведены за апрель 2017 [6].

Как видно из таблицы, 92.03% пользователей используют браузеры с поддержкой SVG.

Использование WebView и SVG графики позволяет реализовать полноценный АРМ терминал для различных пользователей и выводить на экран различную информацию (графики, таблицы, изображения и текст). Создать необходимую анимацию и настроить обратную связь. Хорошая поддержка стандарта SVG современными браузерами и их большая распространённость позволит запустить АРМ терминал почти на любом современном устройстве.

Таблица 1. Поддержка браузерами SVG

№	Браузер	версия	%, пользователей
1	InternetExplorer	11	3.2
2	Edge	14	1.4
3	Firefox	52	4.64
4	Chrome	49	25.07
5	Safari	10	1.6
6	Opera	44	0.65
7	iOSSafari	9.3	10.11
8	OperaMini	1	2.84
9	AndroidBrowser	4.4	1.6
10	Chromeformobile	57	27.91
11	IE Mobile	11	0.32
12	UC Browser	11.4	9.01
13	SamsungInternet	4	3.68
	Итого		92.03

Из плюсов данного подхода можно выделить следующие:

- унификация, одна реализация для различных устройств
- простота реализации и низкие требования к разработчикам системы
- широкий спектр поддерживаемых устройств

Есть у данного подхода и недостатки, несмотря на унифицированность, может возникнуть потребность в разработке собственного клиента для каждой платформы. Эта задача решается с помощью WebKit и не потребует значительных затрат, но потребуется участие профильного специалиста.

Невозможно использовать текущий подход на операторских панелях, которые поставляются со специфическим программным обеспечением производителя или на устаревшем оборудовании.

Список литературы

1. Парадигма [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://www.itparadigma.ru/arm/ (дата обращения: 06.05.17).

2. Интегрированные системы проектирования и управления: SCADA-системы: учебное пособие / И. А. Елизаров, А. А. Третьяков, А. Н. Пчелинцев и др. – Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2015. – 160 с. – 400 экз. – ISBN 978-5-8265-1469-6.

3. Системы диспетчерского управления и сбора данных (SCADA- системы) // Мир компьютерной автоматизации. – 1999. – № 3. – С. 4 – 9.

4. Википедия [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/SVG (дата обращения: 06.05.17).

5. W3C [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://www.w3.org/ (дата обращения: 07.05.17).

6. StatCounter [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://gs.statcounter.com/ (дата обращения: 08.05.17).

7. *Андреев, Е.Б.* SCADA-системы: взгляд изнутри / Е. Б. Андреев, Н. А. Куцевич, О. В. Синенко. – М.: РТСофт, 2004. – 176 с.

05.13.06

М.А. Чалов, И.А. Шмидт

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
электротехнический факультет, кафедра микропроцессорных средств автоматизации,
Пермь, maxim.chaloff@yandex.ru

ХРАНЕНИЕ ДАННЫХ СТЕНДОВЫХ ИСПЫТАНИЙ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-4-222-225

В данной статье рассмотрены способы хранения данных стендовых испытаний. Выявлены недостатки существующего решения по хранению данных в виде двухуровневой архитектуры. Была предложена подсистема хранения параметров, базирующаяся на применении документо-ориентированной базы данных MongoDB; предложены способы хранения данных стендовых испытаний в JSON формате в ДОБД.

Ключевые слова: *хранение данных, MongoDB, Java, тренды.*

Стендовые испытания являются важной частью производства сложных технических изделий (СТИ). Цель таких испытаний – проверка изделия на отказоустойчивость посредством прохождения испытаний в эксплуатируемых условиях. Информация, получаемая в процессе испытаний СТИ, представляет собой ценный ресурс и может быть использована для определения качества испытаний, прогнозирования состояния изделий, а также для решения ряда других конструкторских и научных задач [1].

Автоматизированный сбор, хранение и анализ информации в настоящее время проводят с применением двухуровневой архитектуры.

Хранение информации в данной архитектуре в виде набора бинарных файлов не обеспечивает достаточного уровня надёжности, поскольку файл может быть удалён или повреждён. Использование же БД позволяет повысить надёжность и эффективность хранения за счёт того, что тренды хранятся в одном месте. Это также позволяет сравнивать тренды между собой.

На рисунке 1 изображена общая схема связи нижнего и верхнего уровней:



Рис. 1 – Общая схема нижнего и верхнего уровней

Потому далее будет рассмотрена реализация дополнительного, третьего, уровня системы.

Третий уровень по своей сути является единой базой данных предприятия, которая объединяет все стенды предприятия и рабочие станции в единую сеть.

Стоит отметить, что важным аспектом проведения стендовых испытаний является разнородность получаемой информации (база данных должна хранить данные, представляющие метаинформацию о проведении испытания, и временные ряды – информацию, собираемую в процессе испытаний с привязкой к моменту времени).

Именно поэтому в качестве третьего уровня в данной работе предложена документо-ориентированная база данных (ДОБД). Модель данных таких хранилищ позволяет объединять набор элементов в абстракцию, называемую «документ». Документы могут иметь вложенную структуру и объединяться в коллекции, которые могут содержать подколлекции. Основной инструмент повышения производительности ДОБД заключается в их иерархической ориентированности. [2].

Реализация системы регистрации параметров стендовых испытаний. В двухуровневой архитектуре информация об изменении всех измеряемых параметров во времени хранится в наборе бинарных файлов, называемом трендом испытания. Каждый файл представляет собой временную последовательность буферов опроса. Запись в файлы ведется в разные моменты времени и с разной частотой.

Важно отметить, что конфигурация и параметры каналов измерения хранятся в РСУБД под названием «паспорт испытания», в то время как сами данные хранятся отдельно в бинарных файлах – трендах. Также в отдельных файлах хранятся коэффициенты тарировки и калибровочные значения.

Для извлечения информации из тренда необходимо знать размер трендов и кадров (набор значений параметров, относящихся к одной временной отметке) и расположение параметров, то есть нужен «паспорт испытания».

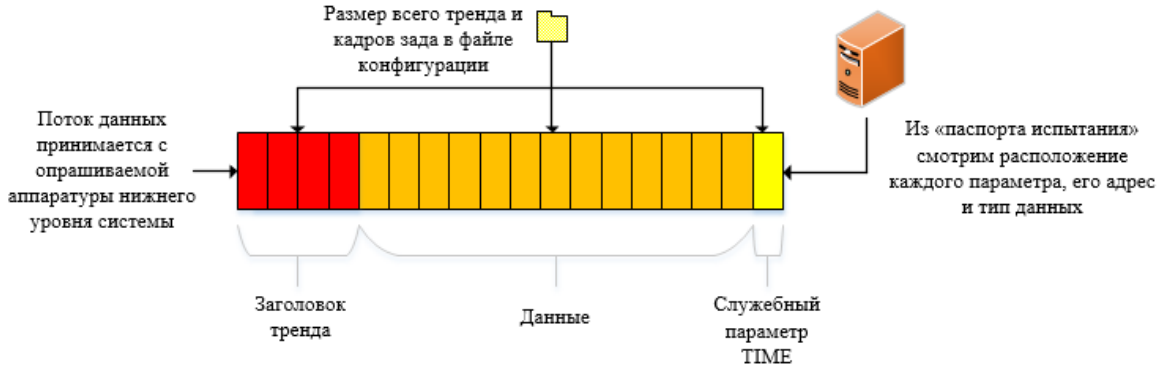


Рис. 2 – Структурная схема взаимодействия «паспорта испытания» и трендов

Применительно к задаче хранения данных испытаний: в ДОБД будут храниться временные ряды и метаинформация.

Для этого была выбрана документно-ориентированная база данных *MongoDB*, хранящая данные в *JSON* формате [3].

Реализация «Паспорта испытания» в ДОБД представлена на рисунке 3.

```
/* 1 */
{
    "_id" : ObjectId("5942c2d0bd8c4c29b7e3f82a"),
    "name" : "Rostb",
    "dim" : "об/мин",
    "descript" : "Регулировка оборотов отключения СтВ ",
    "scanbuf" : "1",
    "analog" : "1",
    "min_scale" : "-500.00000",
    "max_scale" : "500.00000"
}

/* 2 */
{
    "_id" : ObjectId("5942c2d0bd8c4c29b7e3f82b"),
    "name" : "PT501",
    "name2" : "PT501",
    "dim" : "мм.вод.ст.",
    "descript" : "Перепад между полн. давл. газа за СТ и атм.",
    "scanbuf" : "1",
    "analog" : "1",
    "min_scale" : "0.00000",
    "max_scale" : "3600.00000"
}
```

Рис. 3 – Фрагмент работы приложения для «Паспорта испытания»

Для хранения данных стендовых испытаний в ДОБД были рассмотрены следующие способы представления временных рядов:

1. Хранение одного документа на один кадр данных (рис. 4).

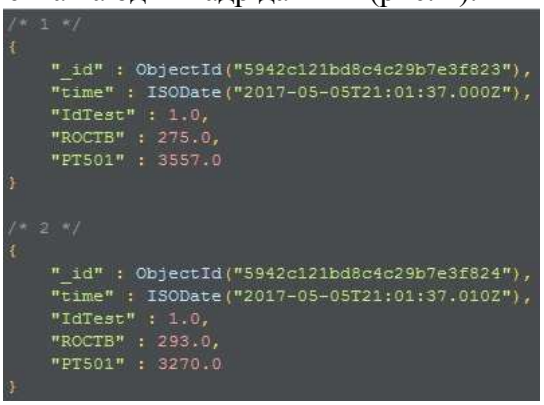


Рис. 4 – Фрагмент работы приложения при хранении документа

Данный подход основан на представлении кадра параметров в виде строки таблицы, но при этом используются возможности документа в ДОБД. Чтобы обеспечить лучшую производительность для чтения и для повышения эффективности хранения, рассмотрим усовершенствованную модель.

2. Хранение документа с набором полей, содержащих кадр (рис. 5).

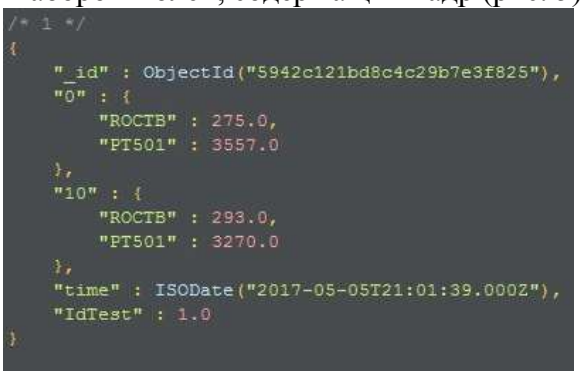


Рис. 5 – Пример хранения документов с набором полей

В данном случае происходит хранение нескольких замеров в рамках одного документа. В поле *time* фиксируется та временная отметка, что определяет документ. Для каждого кадра данных, считанного в ту же отметку, сохраняется новое значение в том же самом документе. Ключ вложенного документа (0, 10 и т.д.) определяет смещение замера от временной отметки.

3. Документ, включающий массив данных (рис. 6).



Рис. 6 – Отображение массива данных

Данный подход является более гибким. В поле *time* зафиксировано время начала отсчёта кадров, а поле *frames* является массивом кадров, каждый из которых в поле *ms* хранит количество миллисекунд, прошедших с начала записи этого документа. Таким образом, возможно хранить данные нерегулярных временных рядов.

Из перечисленных способов на практике третий способ является наиболее предпочтительным, так как обладает лучшей гибкостью и более простой реализацией [4,5].

Заключение. В данной статье был рассмотрен существующий способ хранения данных стендовых испытаний, выявлены недостатки хранения данных в бинарных файлах. Была предложена подсистема хранения параметров, базирующаяся на применении документо-ориентированной базы данных *MongoDB*, обоснован выбор данной БД, а также описана структура трендов испытания и «паспорта испытания». Предложены способы хранения данных стендовых испытаний в *JSON* формате в ДОБД.

Список литературы

1. *Кавалеров Б.В.* Методологические и теоретические основы автоматизации испытаний систем управления электроэнергетическими газотурбинными установками с учетом динамики электроэнергетической системы: дис. доктор технических наук. – М., 2012. — 412 с.
2. *Попов Д.А., Шмидт И.А.* Разработка системы управления архивными данными испытаний газотурбинных установок большой мощности //Современные проблемы науки и образования. 2014. № 2.
3. *Кайл Бэнкер*, MongoDB в действии — М.: ДМК Пресс, 2012 . — 395с.
4. *Васнев Н.В., Шмидт И.А.* Система регистрации параметров испытаний сложных изделий на основе длкументо-ориентированной базы данных // Фундаментальные исследования. – 2016. – № 11-3. – С. 500-504.
5. *Шмидт И.А., Васенев Н.В.* Выбор оптимальной JSON-модели для хранения результатов испытаний // Фундаментальные исследования. 2016. № 11-3. С. 620-625.

05.13.00

М.В. Чирков

Пермский государственный национальный исследовательский университет,
механико-математический факультет, кафедра прикладной математики и информатики,
Пермь, ozs-50@mail.ru

УПРАВЛЕНИЕ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОТИВОВИРУСНОГО ИММУННОГО ОТВЕТА

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-4-226-228

Цель работы заключается в численном решении задачи дискретного управления иммунным ответом при инфекционном заболевании в условиях неопределенности. Задача дискретного управления представлена нелинейной системой обыкновенных дифференциальных уравнений с запаздывающим аргументом. Условия неопределенности означают, что значения параметров модели не известны, а их оценка корректируется по мере поступления новых клинико-лабораторных данных. Показано, что иммунотерапия позволяет проводить эффективное лечение при острой форме инфекционного заболевания.

Ключевые слова: *математическая модель инфекционного заболевания, идентификация параметров, дискретное управление, иммунотерапия*.

Математические модели иммунного ответа при инфекционных заболеваниях позволяют исследовать динамику иммунной защиты организма при вирусных и бактериальных инфекциях. Данные модели, как правило, представлены нелинейными системами обыкновенных дифференциальных уравнений [1 – 5], содержащими большое количество параметров. Значения параметров характеризуют свойства иммунной системы и антигенов. С помощью оценки параметров, вычисленной на основе лабораторных данных, можно анализировать иммунную реакцию у конкретного пациента, а также формировать наиболее подходящие схемы лечения. Решение данных задач осложняется тем, что традиционные подходы позволяют получить оценку параметров только к концу заболевания, когда прогноз его течения и выбор лечения теряют свою актуальность. В связи с этим представляет интерес разработка методов управления в условиях неопределенности, когда значения параметров не известны, но известно, в каком диапазоне они находятся, причем оценка параметров уточняется по мере поступления новых лабораторных данных.

Иммунную реакцию будем рассматривать на основе математической модели противовирусного иммунного ответа, предложенной Г.И. Марчуком и Р.В. Петровым [3]. Одним из эффективных способов лечения инфекционных заболеваний является иммунотерапия, основанная на введении донорских антител. Будем рассматривать модель гуморального иммунного ответа, которая с учетом иммунотерапии может быть представлена в следующем виде:

$$\frac{dV_f}{dt} = a_1 C_V - a_3 V_f F - a_4 V_f - a_5 (1 - C_V - m) V_f,$$

$$\frac{dC_V}{dt} = a_{35} V_f (1 - C_V - m) - a_{37} C_V,$$

$$\frac{dm}{dt} = a_{37} C_V - a_{38} m,$$

$$\frac{dM_V}{dt} = a_6 V_f - a_7 M_V,$$

$$\frac{dH_B}{dt} = a_{14} \xi(m) H_B(t - a_{15}) M_V(t - a_{15}) - a_{16} H_B M_V - a_{17} M_V H_B B + a_{18}(1 - H_B),$$

$$\frac{dB}{dt} = a_{25} \xi(m) M_V(t - a_{26}) H_B(t - a_{26}) B(t - a_{26}) - a_{27} M_V H_B B + a_{28}(1 - B),$$

$$\frac{dP}{dt} = a_{29}\xi(m)M_V(t-a_{30})H_B(t-a_{30})B(t-a_{30}) + a_{31}(1-P),$$

$$\frac{dF}{dt} = a_{32}P - a_{33}FV_f - a_{34}F + u.$$

Фазовыми переменными модели являются: V_f – концентрация свободного вируса; F – концентрация антител к вирусным антигенам; C_V – доля зараженных клеток органа-мишени; m – доля пораженных клеток органа-мишени; H_B – количество клеток-хелперов для В-клеток; B – количество В-клеток данной специфичности; P – количество плазматических клеток, синтезирующих антитела; M_V – количество стимулированных макрофагов.

Функция $\xi(m)$, учитывающая нарушение нормальной работы иммунной системы вследствие значительного поражения органа, имеет вид

$$\xi(m) = \begin{cases} 1, & 0 \le m < m^*, \\ \dfrac{m-1}{m^*-1}, & m^* \le m \le 1. \end{cases} \qquad (2)$$

Начальные условия характеризуют заражение здорового организма:

$$V_f = V_f^0,\ M_V = C_V = m = 0,\ H_B = B = P = F = 1,$$

$$H_B(t)M_V(t) = 0,\ \forall t \in [-a_{15}, 0) \qquad (3)$$

$$M_V(t)H_B(t)B(t) = 0,\ \forall t \in [-\tau, 0),\ \tau = \max(a_{26}, a_{30}).$$

Модель противовирусного иммунного ответа была использована для исследования динамики вирусного гепатита В. Получен следующий набор параметров, характеризующий динамику гепатита [4]: $a_1 = 0{,}1$; $a_2 = 10^{-4}$; $a_3 = 0{,}1$; $a_4 = 10^{-4}$; $a_5 = 10^{-4}$; $a_6 = 0{,}05$; $a_7 = 0{,}02$; $a_8 = 10^{-4}$; $a_{14} = 10^{-2}$; $a_{15} = 1$; $a_{16} = 10^{-3}$; $a_{17} = 10^{-4}$; $a_{18} = 0{,}05$; $a_{25} = 0{,}8$; $a_{26} = 1$; $a_{27} = 0{,}08$; $a_{28} = 0{,}1$; $a_{29} = 0{,}5$; $a_{30} = 1$; $a_{31} = 0{,}16$; $a_{32} = 0{,}17$; $a_{33} = 0{,}2$; $a_{34} = 0{,}17$; $a_{35} = 0{,}4$; $a_{36} = 0{,}002$; $a_{37} = 0{,}005$; $a_{38} = 0{,}12$.

Будем считать, что клинико-лабораторные данные можно получить в определенные моменты времени, которые соответствуют узлам сетки

$$\Pi = \{t_i :\ t_i = i\Delta t,\ i = \overline{1,N},\ \Delta t = T/N\}. \qquad (4)$$

Таким образом, входная информация имеет дискретный характер. Управляющая функция $u = u(t)$, характеризующая скорость введения донорских антител, выбирается из множества

$$U = \{u(t) :\ u(t) = u_{i-1} \in [0, B],\ t \in [t_{i-1}, t_i),\ i = \overline{1,N},\ u(T) = u_{N-1}\}. \qquad (5)$$

Для построения управляющей функции в условиях неопределенности использовался алгоритм, предложенный в работе [6]. Методика построения программы лечения заключается в следующем. Для параметров модели выбирается диапазон допустимых значений:

$$a_i \in [a_i^-, a_i^+],\ i = \overline{1,L}, \qquad (6)$$

где L – количество параметров. На множестве допустимых значений параметров случайным образом задается K наборов параметров:

$$\boldsymbol{\alpha}^{(k)} \in \Theta,\ k = \overline{1,K},\ \Theta = \left\{ \boldsymbol{\alpha} : a_{ij} = a_i^- + jh_i,\ j = \overline{0,M_i},\ h_i = \frac{a_i^+ - a_i^-}{M_i},\ i = \overline{1,L} \right\}. \qquad (7)$$

При $t \in \Pi$ определяются допустимые наборы параметров, которые удовлетворяют критерию

$$\left| V_f(t_i, \boldsymbol{\alpha}^{(k)}) - V_f^{\text{эксп.}}(t_i) \right| < \varepsilon_1,\ \left| m(t_i, \boldsymbol{\alpha}^{(k)}) - m^{\text{эксп.}}(t_i) \right| < \varepsilon_2,\ i = \overline{0,N},\ k = \overline{1,K_i}, \qquad (8)$$

где $V_f^{\text{эксп.}}(t_i)$, $m^{\text{эксп.}}(t_i)$ – полученные на основе анализов клинико-лабораторные данные; $\varepsilon_j, j = \overline{1,2}$ – величина допустимого отклонения расчетных значений соответствующих фазовых переменных от клинико-лабораторных показателей; K_i – количество наборов параметров в момент времени t_i; $\boldsymbol{\alpha} = (a_1, a_2, \ldots a_L)$.

Рассмотрим построение программы лечения при острой форме заболевания. В этом случае опорное решение можно определить исходя из минимизации функционала энергетической цены иммунного ответа [7]:

$$E = a_{29}\int_0^T M_V(t-a_{26})H_B(t-a_{26})B(t-a_{26}) \to \min . \qquad (9)$$

Опорное решение будем определять при a_{29} = 3,5 и a_{26} = 0. Для построения управляющей функции в условиях неопределенности будем использовать имитацию лабораторных показателей. Экспериментальные значение в критерии (8) зададим из решения модели при известных значениях параметров. Далее, считая значения параметров не известными, будем строить управление и одновременно уточнять значения параметров.

На рис. 1 сплошными линиями показан вид управляющей функции. Также на рисунке представлена динамика антигенов при естественном течении заболевания (штриховая кривая) и в случае рассмотренной программы лечения (штрих-пунктир). В формуле (2) принято $m^* = 0{,}1$. Считалось, что в момент инфицирования $V_f^0 = 10^{-6}$. В условии (7) принято $K = 10^4$, а в критерии (8) взяты следующие значения: ε_1 =0,01; ε_2 = 0,25. Программа лечения заключается в постепенном увеличении объема вводимых донорских антител. Максимальная концентрация антигенов снижается в два раза.

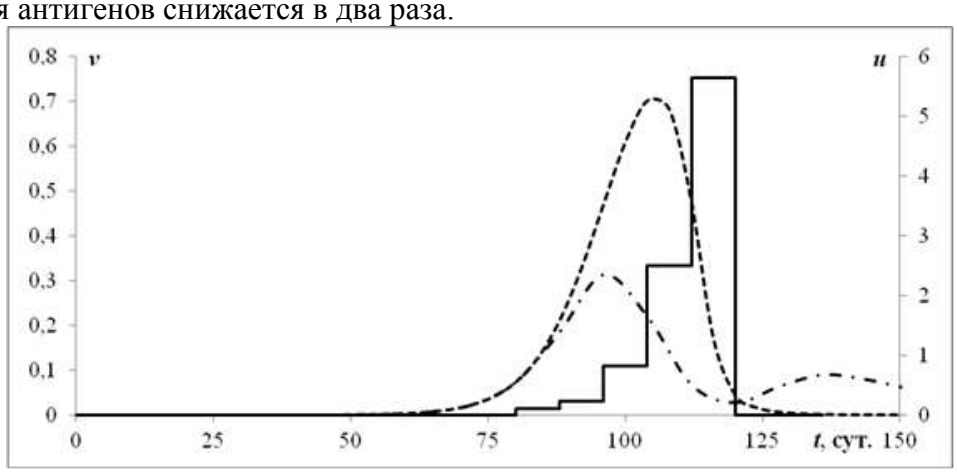


Рис. 1. Управление иммунным ответом

Таким образом, результаты расчетов показывают, что иммунотерапия позволяет проводить эффективное лечение при острой форме заболевания. С помощью рассмотренного алгоритма можно строить управление иммунным ответом в условиях неопределенности, уточняя оценку параметров по мере поступления новых клинико-лабораторных данных.

Список литературы

1. *Белых Л.Н.* Анализ математических моделей в иммунологии. – М: Наука, 1988. – 192 с.
2. *Марчук Г.И.* Математические модели в иммунологии. Вычислительные методы и эксперименты. – М: Наука, 1991. – 304 с.
3. *Марчук Г.И., Петров Р.В.* Математическая модель противовирусного иммунного ответа // Вычислительные процессы и системы. Вып. 1. – М.: Наука, 1983. – С. 5 – 11.
4. *Романюха А.А., Бочаров Г.А.* Моделирование отдельных процессов иммунного ответа при вирусном гепатите В на основе математической модели противовирусного иммунного ответа // Математические модели в иммунологии и медицине / под ред. Г.И. Марчука, Л.Н. Белых. М.: Мир, 1986. С. 155 – 167.
5. *Marchuk G.I.* Mathematical Modeling of Immune Response in Infectious Diseases. – Dordrecht: Springer Science & Business Media, 2013. – 350 p.
6. *Русаков С.В., Чирков М.В.* Идентификация параметров и управление в математических моделях иммунного ответа // Российский журнал биомеханики. – 2014. – Т. 18, № 2. – С. 259 – 269.
7. *Русаков С.В., Чирков М.В.* Математическая модель влияния иммунотерапии на динамику иммунного ответа // Проблемы управления. – 2012. – № 6. – С. 45 – 50.

05.13.18

Е.В. Шаврина

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

ПРИМЕНЕНИЕ МОДИФИКАЦИИ МОДЕЛИ ТУРБУЛЕНТНОСТИ K-E ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ СВЕРХЗВУКОВЫХ СТРУЙ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-4-229-231

Представлены результаты работы по модификации стандартной модели k-e для сверхзвуковой неизобарической струи. Для определения точности полученной модели было проведено компьютерное моделирование и сравнение с экспериментальными данными.

Ключевые слова: *Модификация модели турбулентности k-e, сверхзвуковое течение, модели турбулентности Молчанова, База.*

Течения, скорости которых достигают и превышают скорость звука, встречаются во многих отраслях промышленности. С наибольшей вероятностью примеры таких струй можно встретить при проектировании авиационных и ракетных двигателей. При создании установок данных типов необходимо точное предсказание распределения параметров в потоке. Наибольшую популярность для решения подобных задач приобрело применение численного моделирования, в соответствии с [1-3]. Согласно [4] в данном пакете расчеты проводятся на основе численного решения системы уравнений Навье-Стокса. В связи с тем что численное решение данной системы уравнений требует больших вычислительных ресурсов, в инженерной среде получили распространение модели основанные на осредненных уравнениях Навье-Стокса. Одна из таких моделей, модель k-e, используется в данной работе как основная в связи с подтвержденной достоверностью для широкого спектра задач. Данная модель турбулентности в своей основе содержит два уравнения переноса:

1. Уравнение переноса турбулентной кинетической энергии

$$\frac{\partial(\rho \cdot k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \cdot U_j \cdot k)}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j}\left[(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k})\frac{\partial k}{\partial x_j}\right] - \rho\varepsilon \quad (1)$$

2. Уравнение переноса турбулентной диссипации

$$\frac{\partial(\rho \cdot \varepsilon)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \cdot U_j \cdot \varepsilon)}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j}\left[(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon})\frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j}\right] - \frac{\varepsilon^2 \cdot C_{\varepsilon 2} \cdot \rho}{k} \quad (2)$$

где M_t – турбулентное число Маха,

a – местная скорость звука,

μ_t– турбулентная вязкость,

k – турбулентная кинетическая энергия,

ε – турбулентная диссипация,

ρ – плотность,

C_μ , $C_{\varepsilon 2}$, σ_ε– стандартные коэффициенты модели турбулентности k-e.

Однако, как описано в работе [5], выбранная модель предоставляет некорректные данные о распределении параметров в сверхзвуковых струях. Такое искажение недопустимо, так как при недостаточной оценке длины струи, возможно повреждение стартовой площадки. Следовательно, возникает необходимость модификации стандартной модели турбулентности для ее применения в области задач о сверхзвуковых струях.

На данный момент во многих работах считается, что пульсации давления, возникающие в зоне смешения дозвуковых и сверхзвуковых объемов газа, вызывают дополнительную диссипацию. Существует несколько методов для учета в уравнениях турбулентности дополнительной диссипации, основанные на экспериментальных коэффициентах. Так в

работе [6] представлена корректировка вычисления турбулентной вязкости и дополнительный член в уравнении переноса кинетической энергии, основанные на линейной зависимости от турбулентного числа Маха:

$$\mu_t = \frac{C_\mu \cdot \rho \cdot k^2}{(1 + 0.29M_t) \cdot \varepsilon} \quad (3)$$

$$S_t = -0.29\rho M_t \varepsilon \quad (4)$$

$$M_t = \frac{\sqrt{2 \cdot k}}{a} \quad (5)$$

В работе [7] представлена поправка, содержащая в основе квадратичные зависимости от турбулентного числа Маха.

$$C_{\varepsilon 2}{}' = \frac{C_{\varepsilon 2}}{1 + 1.6 \cdot {M_t}^2} \quad (6)$$

Тем не менее, рассмотренные модели также не позволяют получить абсолютно точной величины длины струи. Было выдвинуто предположение, что влияние турбулентной вязкости увеличивается при движении по оси струи, в связи с этим объединение моделей использующих квадратичную и линейную зависимости, позволит получить распределение параметров в большей степени совпадающее с экспериментальными данными.

Для достижения данной цели, было принято решение рассмотреть подробнее поправки, вводимые Базом (квадратичная модель) и Молчановым (линейная модель). Для анализа исследуемых поправок, было проведено моделирование эксперимента, представленного в [8], в программном пакете вычислительной газо- и гидродинамики. Моделирование было проведено в трех постановках: с использованием стандартной модели k-e, модели База и модели Молчанова (результаты моделирований представлены на рис.1).

Как видно рисунок 1 подтверждает, что стандартная модель турбулентности *k-e* искажает величину длины струи, что недопустимо. Кроме этого анализ полученных данных позволяет сделать вывод, что при удалении более чем на 30 радиусов среза сопла модель База завышает значения исследуемых параметров. Также при приближении к соплу наблюдается меньшее значение градиента турбулентной вязкости. Таким образом, объединение моделей было осуществлено следующим образом: при значении градиента турбулентной вязкости менее 0.001 использовалась поправка База, в противном случае поправка описанная Молчановым.

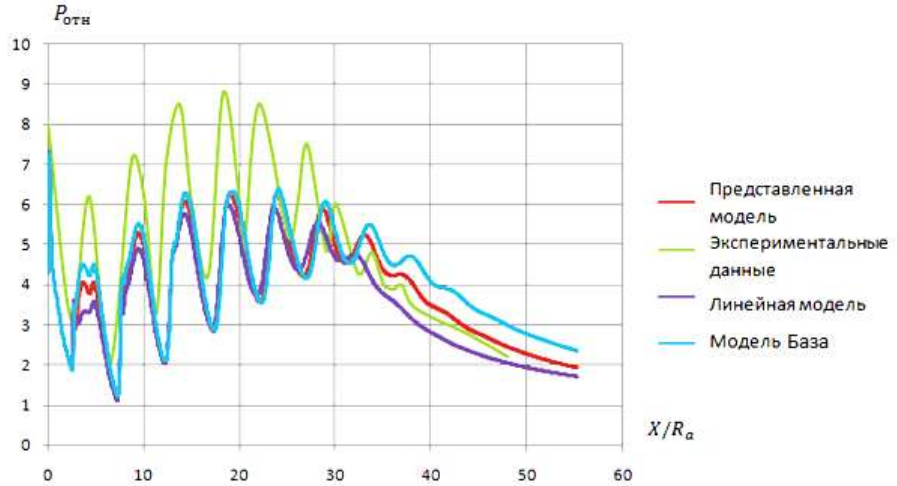


Рис. 1- Изменение относительного полного давления вдоль оси струи

Проведенный расчет подтверждает работоспособность предложенной поправки к модели, результат представлен на рисунке 1.

Важно заметить, что предложенная модификация модели турбулентности является несколько более точной, чем модификации, предложенные в работах [9,10].

Таким образом, предложенная модификация позволит повысить качество проектирования безопасного старта, путем высокоточного определения длины струи даже при ограничении в временных ресурсах.

Список литературы

1. *Платонов И.М.* Решение задачи горения водорода в сверхзвуковом потоке с помощью модуля Ansys CFX. "Труды МАИ" 2015, выпуск №82, с.1-13.

2. *Запрягаев В.И., Кавун И.Н., Кундасев С.Г.* Расчетно-экспериментальное исследование газодинамической структуры сверхзвуковой перерасширенной струи. Вестник НГУ. Серия: Физика 2013, том 8, выпуск 4, с.84-91.

3. *Москвичев А.В.* Применимость моделей турбулентности, реализованных в ANSYS CFX, для исследования газодинамики в щелевом канале ТНА ЖРД, Вестник Воронежского государственного технического университета 2013, том 9, выпуск № 5-1, с.82-85.

4. *Михеев Н.И., Саушин И.И.* Метод и результаты оценки параметров модели турбулентности k-e на основе экспериментальных полей скоростей. "Труды Академэнерго" 2013 выпуск №3, с.17-25.

5. *Сафронов А.В.* О применимости моделей турбулентной вязкости для расчета сверхзвуковых струйных течений. Физико-химическая кинетика в газовой динамике 2012, том 13, выпуск 1, с.1-17.

6. *Глебов Г.А., Молчанов А.М.* Модель турбулентности для расчета высокоскоростных реагирующих струй. - В кн. Исследование теплообмена в летательных аппаратах – М.: МАИ,1982, стр.6-11.

7. *El Baz,* A.M. Modeling compressibility effects on free turbulent shear flows. 5th Biennial Colloquium on Computational Fluid Dynamics, UMIST, UK, 1992.

8. *Zapryagaev V.I., Kudryavtsev A.N., Lokotko A.V. and others*. An experimental and numerical stude of a supersonicjet shock-wave structure. 11-th International Conference on the Methods of Aerophysical Research (ICMAR-2002) (Novosibirsk, Russia, July 1-7, 2002). : Proc.. Novosibirsk: Nonparel, 2002. P. 185-191

9. *Шаврина Е.В.* Разработка и верификация модификации модели турбулентности для расчета сверхзвуковых неизобарических струй. Научно-технический вестник Поволжья 2016, выпуск 6, с.182-185.

10. *Шаврина Е.В.* Расчет неизобарических сверхзвуковых струй с поправками на сжимаемость в модели турбулентности. Научно-технический вестник Поволжья 2016, выпуск 3, с.151-154.

05.13.06

В.А. Шаманов к.т.н.

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
кафедра строительного инжиниринга и материаловедения,
Пермь, shamanov@cems.pstu.ru

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ДОЗИРОВАНИЯ КОМПОНЕНТОВ АВТОКЛАВНОГО ГАЗОБЕТОНА

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-4-232-235

Целью данной статьи является разработка математической модели технологического процесса дозирования компонентов автоклавного газобетона, призванной выявить различного рода связи между входными координатами и помехами, управляющими воздействиями и качеством конечного продукта. На основе методов математического планирования эксперимента были получены зависимости изменения показателей качества автоклавного газобетона от состава смеси. Математическая модель может быть использована при поддержке принятия решений при управлении процессом дозирования компонентов на предприятиях по производству блоков из ячеистого бетона.

Ключевые слова: *математическая модель, технологический процесс, газобетон, дозирование, поддержка принятия решений.*

Известно, что процессы производства строительных материалов различного назначения, в том числе производства изделий из автоклавного газобетона (АГБ), являются сложными и иерархически упорядоченными системами, состояние которых зависит от многих факторов. Для повышения эффективности решений, принимаемых персоналом на различных переделах (постах), необходимо прибегать к систематизации знаний, которые в дальнейшем могут быть объединены (интегрированы) в общую математическую модель для управления процессом производства АГБ на основе поддержки принятия решений [1, 2, 3].

Проведенный анализ технологического процесса производства АГБ на АО «ПЗСП» позволил выявить основные проблемы при разработке математической модели производства изделий из автоклавного газобетона, среди которых высокая трудоемкость определения связей между входными координатами, управляющими воздействиями и конечным результатом (качеством готового продукта) [4]. Это обусловлено малым объемом информации о текущем состоянии технологического процесса и ее разнородностью. Подобные обстоятельства препятствуют созданию системы управления и автоматизации технологического процесса производства изделий из АГБ на многих заводах.

Таким образом, разработка математической модели технологического процесса производства автоклавного газобетона с возможностью ее интегрирования в существующие системы управления качеством выпускаемой продукции в рамках действующего производства изделий из АГБ является не только актуальной, но и практической значимой.

Ранее в работе [5] было установлено, что для уменьшения размерности и сложности математической модели производственного процесса автором были выбраны наиболее значимые факторы изменения качества готового продукта – блоков из автоклавного газобетона. При этом была использована экспертная информации, которая позволила сформировать причинно-следственные связи между факторами, помехами и выходными координатами. В результате, основываясь на мнении экспертов, было установлено, на качество АГБ особое влияние оказывают процессы дозирования компонентов исходной шихты.

Следует отметить, что процесс дозирования подразумевает под собой отмеривание компонентов в соответствии с выбранной рецептурой с определенной точностью. Известно, что в состав газобетона автоклавного твердения входят известь, портландцемент, кремнеземистый компонент, газообразователь, вода и, в ряде случаев, химические или минеральные добавки [6].

Состав газобетона рассчитывается согласно СН 277-80 «Инструкция по изготовлению изделий из ячеистого бетона», где в качестве необходимых и достаточных данных для расчета количества материала выступают соотношения n (доля цемента в известково-цементном вяжущем), $C_{св}$ (отношение массы кремнеземистого компонента к известково-цементному вяжущему), В/Т (отношение количества воды к массе сухих компонентов), $A_{из}$ (активность извести), В/Т (отношение количества воды к массе сухих компонентов), D (марка газобетона по средней плотности), а также другие справочные характеристики.

В данной работе при расчете состава АГБ плотностью D500 были приняты следующие значения соотношений: $C_{св}$ = 2.1; n = 0.4; В/Т = 0.45 для ударной технологии производства АГБ, $A_{из}$ = 75%, которые коррелируют с данными действующего производства АГБ.

Для получения математических зависимостей показателей качества газобетона от исходного состава смеси был проведен полный центральный ортогональный трехфакторный эксперимент с изменением каждого фактора на трех уровнях, позволяющий получать математические модели путем проведения небольшого количества экспериментов [7]. Анализ полученных данных осуществлялся при помощи стандартных методик обработки результатов эксперимента и получения математических моделей зависимости функций отклика от исходных параметров, проверка результатов проводилась на персональном компьютере (ПК) с применением программного комплекса «STATISTICA» [8].

Помимо соотношений n и $C_{св}$, которые были приняты в качестве основных факторов, в качестве помехи (третий фактор), обеспечить стабильность которой не представляется возможным в силу условий происхождения, было выбрано содержание SiO_2 в кремнеземистом компоненте. Диапазон изменения содержание SiO_2 был назначен на основе лабораторных журналов качества применяемого песка на АО «ПЗСП» [9].

Выбранные факторы, их коды, а также значения верхнего, среднего и нижнего уровня приведены в табл. 1.

Таблица 1 - Факторы и интервалы их варьирования

Код	Значение кода	Исследуемые факторы		
		U_1 (n)	U_2 ($C_{св}$)	X_3 (доля SiO_2)
Верхний уровень	+1	0.5	3.0	70
Средний уровень	0	0.4	2.5	80
Нижний уровень	-1	0.3	2.0	90

В результате проведения эксперимента были получены полупромышленные (лабораторные) образцы газобетона, у которых определялась следующие физико-механические и теплотехнические свойства: средняя плотность (Y_1); прочность на сжатие (Y_2); морозостойкость (Y_3); влажность (Y_4); теплопроводность (Y_5).

Оценка значимости коэффициентов регрессии перед соответствующими взаимодействиями производилась с помощью карт Парето (рис. 1).

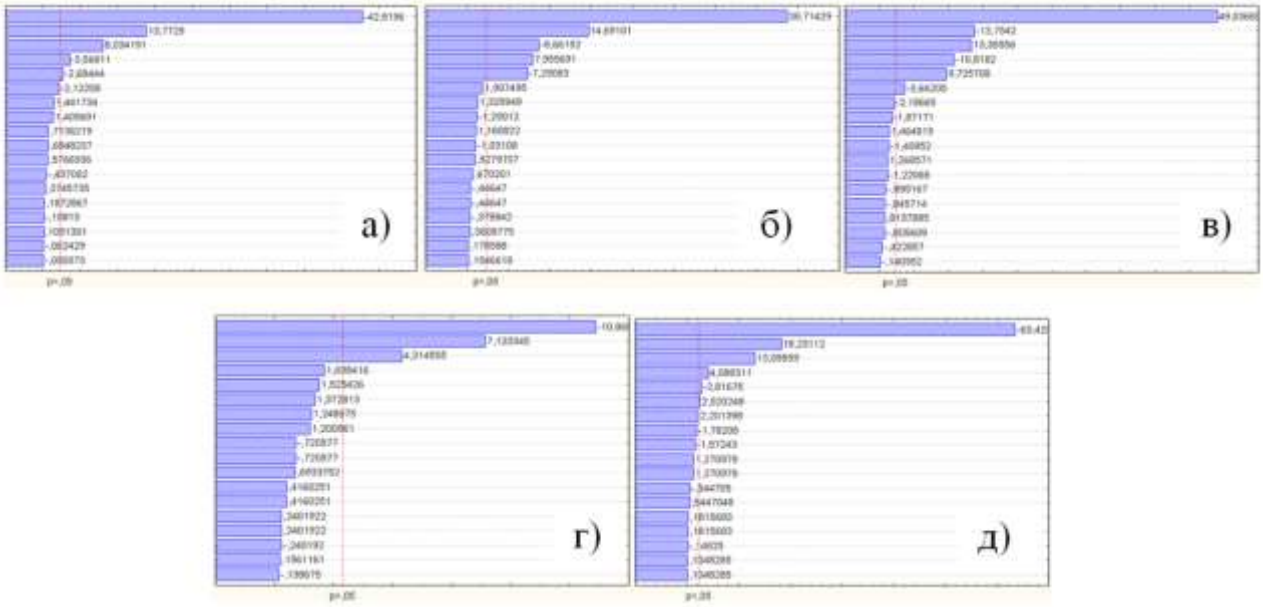


Рис. 1 – Оценка значимости коэффициентов регрессии (карты Парето):
а - для функции плотности; б - для функции прочности при сжатии; в - для функции морозостойкости; г - для функции влажности; д - для функции теплопроводности

В итоге уравнения регрессии в натуральных величинах для каждого показателя качества приняли следующий вид:

$$Y_1 = -7196 + 48305U_1 + 69350U_1^2 + 5596U_2 - 868U_2^2 + 14351X_3 - 17958X_3^2 - 44538\,U_1U_2 - 1783U_1X_3 + 57148U_2X_3, \quad (1)$$

$$Y_2 = -274{,}1 + 1392U_1 - 1730U_1^2 + 223{,}9U_2 - 44{,}2U_2^2 - 544X_3 + 1814X_3^2 + 224\,U_1U_2 - 1131U_1X_3 - 280U_2X_3, \quad (2)$$

$$Y_3 = 14612{,}58 - 2514{,}44U_1 + 3911{,}1U_1^2 - 11228{,}5U_2 + 2305{,}1U_2^2 - 24187{,}3X_3 + 1418{,}7X_3^2 + 8597{,}3U_1U_2 + 143{,}14U_1X_3 - 2174{,}5U_2X_3, \quad (3)$$

$$Y_4 = -1351{,}7 + 406{,}7U_1 - 2277{,}8U_1^2 + 659{,}9U_2 - 74{,}4U_2^2 + 2228{,}3X_3 - 2683{,}3X_3^2 + 2683{,}3U_1U_2 - 566{,}7U_1X_3 + 3469U_2X_3, \quad (4)$$

$$Y_5 = -176{,}1 + 872U_1 - 1010U_1^2 + 136{,}14U_2 - 25{,}32U_2^2 - 421{,}15X_3 + 48{,}7X_3^2 + 187U_1U_2 + 13{,}14U_1X_3 - 987{,}88U_2X_3, \quad (5)$$

где Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5 – функции отклика средней плотности, прочности при сжатии, морозостойкости, влажности и теплопроводности соответственно;

U_1, U_2 – факторы управления n и $C_{св}$ соответственно;

X_3 – фактор возмущения (помеха) (содержание SiO_2 в песке).

По результатам оценки адекватности математических моделей при помощи критерия Фишера путем сравнения его опытного значения с теоретическим [7] установлено, что все полученные математические модели являются адекватными и позволяют с вероятностью 95% описывать исследуемые процессы.

Таким образом, предложенная математическая модель технологического процесса дозирования компонентов автоклавного газобетона (с учетом адекватности данной модели лишь в узком интервале изменения технологических параметров) может найти свое применение в системах интеллектуальной поддержки принятия решений (ИППР), которые относятся к классу «советчиков», и применяются тогда, когда требуется осторожный подход к поиску наилучшего набора управлений, связанный с разного рода неопределенностями.

Список литературы

1. *Зиновкин, В.В.* Оптимальное управление многопараметрическим технологическим процессом приготовления газобетона / В. В. Зиновкин, Э. М. Кулинич, А. И. Байша, В. О. Мирный // Автоматизація, моделювання та методи оптимізаці. Електромеханічні енергозберігаючі системи. – 2012. - №3. – С. 383.

2. *Гитман, М.Б.* Математическая модель управления качеством продукции / М.Б. Гитман, В.Ю. Столбов, С.А. Федосеев // Качество в обработке материалов. – 2014. - № 1. – С. 21.

3. *Тонкушин, А.А.* Система управления производственным процессом для предприятий, производящих автоклавный газобетон / А.А. Тонкушин // Опыт производства и применения ячеистого бетона автоклавного твердения. Сборник докладов научно-практическая конференция: Минск: 2014 – С. 40

4. *Шаманов, В.А.* Современное состояние и перспективы оптимизации технологического процесса производства автоклавного газобетона [Электронный ресурс] / В.А. Шаманов, С.В. Леонтьев, А.Д. Курзанов, В.А. Голубев, // Фундаментальные исследования. – 2015. - № 5. Ч.3. – Режим доступа: http://www.rae.ru/fs/pdf/2015/5-3/38300.pdf.

5 *Шаманов, В.А.* Обоснование выбора факторов управления качеством газобетона автоклавного твердения / Шаманов В.А., Голубев В.А., Харитонов В.А., Леонтьев С.В., Курзанов А.Д. // Прикладная математика и вопросы управления. – 2016. - №1. С. 69-80.

6. *Мартыненко, В.А., Морозова, Н.В.* Справочник специалиста лаборатории завода по производству газобетонных изделий / В.А. Мартыненко, Н. В. Морозова. – Днепропетровск: ПГАСА, 2009 – 308 с.

7. *Маркова, Е.П., Лисенков, А.Н.* Планирование эксперимента в условиях неоднородностей / Е.П. Маркова, А.Н Лисенков. – М.: Наука, 1973. – 221 с.

8. *Халафян, А.А.* Промышленная статистика. Контроль качества, анализ процессов, планирование экспериментов в пакете STATISTICA / А.А. Халафян. – М.: Либроком, 2013. – 384 с.

9. *Леонтьев, С.В.* Опыт получения автоклавного теплоизоляционного газобетона / С.В. Леонтьев, В.А. Голубев, К.А. Сарайкина, В.А. Шаманов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2014. – Т.14. №1. – С. 46.

05.13.01

В.Н. Шведенко, О.В. Щекочихин, Т.М. Ровинская

Костромской государственный университет,
институт физико-математических и естественных наук,
кафедра защиты информации,
Кострома, slim700@yandex.ru

МЕТОДИКА РАЗРАБОТКИ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ, ОБЛАДАЮЩЕЙ СВОЙСТВОМ ПОВЕДЕНИЯ, НА ПРИМЕРЕ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ЗАКУПОЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-4-236-239

Представлена архитектура информационной системы с поведением, дано понятие модель поведения, показан пример реализации модели поведения на основе анализа расхода материальных ресурсов промышленного предприятия методами статистической обработки информации.

Ключевые слова: *интегрированная информационная система, поведение информационной системы, модель поведения*

Архитектура информационной системы. Информационная система (ИС) с поведением обеспечивает реагирование на возмущающие воздействия, которые происходят во внутренней и внешней среде предприятия. В отличии от традиционных систем эта реакция осуществляется самой системой, либо с минимальным вмешательством человека, при этом информационная система приобретает новые функции не изменяя своей архитектуры. [1-2]. Имеется два механизма реализации свойства поведения ИС: 1) формирование библиотеки моделей поведения; 2) интеллектуальная обработка данных, с последующим распределением управляющих воздействий для тех центров ответственности (ЦО), деятельность которых не приводит к достижению целей системы.

Модель поведения представляет собой алгоритм перевода производственной системы из одного состояния в другое в соответствии с её целями. В основе классификации моделей поведения лежит набор показателей и их значений. Создание модели поведения осуществляется в автоматизированном режиме, с использованием методов моделирования бизнес-процессов (БП) и известных алгоритмов решения задач управления производственной системой. Модели поведения накапливаются в соответствующей библиотеке ИС.

Второй механизм характерен для условий неопределенности выбора модели поведения, отсутствия функций управления или варианта достижения цели. В таком случае поведение системы осуществляется средствами интеллектуальной обработки данных.

Методика создания ИС с поведением на основе интеллектуальной обработки данных. При создании ИС используется процессный подход. Наиболее рациональным вариантом организации интегрированной ИС с поведением является использование сервис-ориентированной архитектуры [3,4]. Фундаментом предложенной архитектуры является набор сервисов, которые обеспечивают совместную работу независимых приложений в соответствии с выбранной моделью поведения.

Для создания корпоративной ИС с поведением предлагается архитектура включающая следующий набор подсистем (рис 1):

1. Модуль формирования проекций дерева целей. Показатели проекции дерева цели являются индикаторами текущего состояния производственной системы в различных аспектах – ресурсов, функций управления, технологических процессов и т.п. В проекции дерева целей наряду с нормативными значениями показателей содержатся их фактические значения, величина и степень значимости отклонения.

2. Набор независимых приложений, обеспечивающих исполнение функций производственной системы в ЦО: организация, нормирование, обработка данных, контроль. Приложения могут являться малофункциональными web-приложениями либо работать в разных операционных средах. Основным требованием к приложению является наличие программных интерфейсов, обеспечивающих обмен данными. Указанные функции реализуются через отдельные БП, которые представляют собой набор этапов, исполняемых по определенным правилам. Каждый этап БП связан с соответствующим ЦО за ресурс.



Рис. 1 – Структурная схема интегрированной информационной системы, обеспечивающая свойство поведения, где k – количество сервисов и приложений в ИС, N – количество центров ответственности

3. Подсистема взаимодействия с интегрируемыми приложениями на основе метаданных. Для встраивания приложения в ИС выполняются следующие действия: определение структуры и формата данных, идентификация данных в структуре метаданных, подключение методов API для обмена данными, представление данных в ИС.

4. Подсистема анализа текущего состояния предприятия и принятия управленческих решений. Анализ текущего состояния осуществляется посредством мониторинга показателей производственной системы путем обработки данных из оперативной базы. На основе мониторинга системы показателей определяются ЦО, где допущено значимое отклонение от целевых показателей. Подготовка управленческого решения проводится путем выбора модели поведения по следующим признакам: набору показателей, которые вышли за пределы нормативных значений, и степени значимости отклонения.

5. Подсистема обучения поведению активизируется, когда текущему состоянию системы не может быть поставлена в соответствие известная модель поведения. Функциями подсистемы являются: идентификация проблемной ситуации, выявление возможных альтернатив её разрешения, поиск данных для анализа проблемной ситуации и построения новой модели поведения.

6. Шина данных, обеспечивающая взаимодействие подсистем и приложений между собой. Шина данных состоит из двух частей: репозитория и оперативной базы. Репозиторий шины данных содержит описание метаданных, источник данных в виде приложения, набор методов API для подключения приложения, набор форматов данных, правила сериализации, десериализации и методы обработки данных. Оперативная база данных (БД) хранит метамодели объектов предметной области, идентификаторы БП, параметры ЦО, которые в текущий момент времени отражают состояние объекта производственной системы. В

оперативной БД находится актуальная информация для принятия оперативных управленческих решений.

Все модули системы являются функционально независимыми, обладают свойством полноты и могут располагаться на различных вычислительных устройствах информационной сети.

Алгоритм построения модели поведения. Далее показан пример реализации модели поведения на основе анализа расхода материальных ресурсов промышленного предприятия методами статистической обработки информации. Укрупненный алгоритм состоит из следующих этапов:

1. Подключение к источнику данных. Для доступа к источнику данных необходимы следующие параметры: адрес ресурса, параметры подключения, методы извлечения, структура и форматы данных.
2. Статистическая обработка данных, выдвижение и проверка гипотезы.
3. Выставление нормативных значений показателей, величины отклонений и значимости отклонений в дерево целей или его проекциях.
4. Формирование метода принятия управленческих решений на основе экспертной оценки.
5. Пополнение библиотеки моделями поведения.

Пример реализации алгоритма построения модели поведения в задачах управления объемами поставок материальных ресурсов промышленного предприятия.

Этап 1. В качестве источника использовались данные о квартальной динамике показателей расходов материалов и себестоимости изготовления приборных подшипников, которые взяты с web-ресурсов [5, 6]. Реализованы методы загрузки данных в программу STATISTICA посредством API-функций.

Этап 2: Создание сценария обработки данных в программе STATISTICA. По методу наименьших квадратов были получены следующие уравнения:

$$P(u_1)=8585u_1^{0,3}, C(u_1)=45u_1^{0,76}, P_t(u_{1t})=92,6u_{10}^{0,08}u_1^{0,56}, C_t(u_{1t})=0,6u_{1o}^{0,27}u_1^{0,76}. (1)$$

Анализ динамических рядов цен и объемов поставок основных материалов, используемых фирмами подтвердил правомерность гипотезы об убывающих ценовых трендах и позволил сформировать однофакторные регрессии в виде:

$$z_1(u_1^1)=205u_1^{-0,3}, z_2(u_1^2)=105u_1^{-0,2} (2)$$

Далее по сценарию сформированные регрессии проверяются на адекватность и достоверность в соответствии с оценками коэффициента детерминации.

В рассмотренном примере коэффициент детерминации превышает значение 0,93, и критерий Фишера, превышает критическое значение при уровне значимости 5%, что позволяет перейти к следующему шагу алгоритма модели поведения.

Этап 4: В качестве показателей производственных расходов выступают объем остатков незавершенного производства и материальные затраты в подпериоде, а показателями себестоимости реализованной продукции являются объем остатков и объем выпуска готовой продукции со степенью значимости 0,27 и 0,76 соответственно, то есть выполняется условие постоянной отдачи от расширения масштаба производства $\beta 2+\beta 3\approx 1$. Поскольку $\alpha 2\approx 0$, $\alpha 3<1$, -1<b1<0, то условие не выполняется, следовательно ограничение и не учитываются.

Этап 5: При принятии управленческого решения эксперту предлагается обработанная и агрегированная информации. На рис. 2 представлены кривая производственного цикла F1(u), рассчитанная по формуле с учетом регрессий (1); также отмечено ограничение в виде $u1\min(N)$; показаны фактические значения критерия, реализовавшиеся в 2015г. Решением задачи является значение u1 = u1min (N) при котором продолжительность цикла ниже, чем фактические данные 2015г. Следующим этапом реализации модели поведения являются вычисления положительного результата от принимаемых управленческих решений.

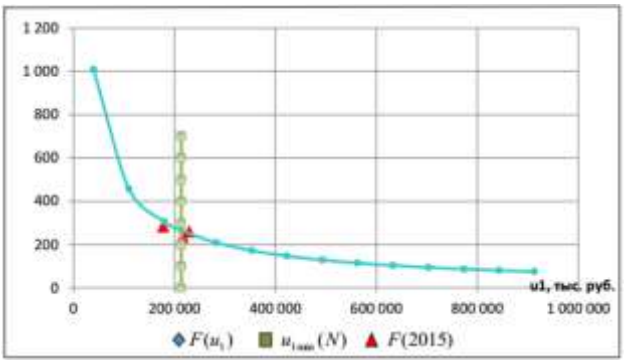


Рис. 2 – Расчетные и фактические значения производственного цикла (дни), ограничение по нормативу потребности ресурсов в зависимости от объема заказов покупателей (тыс. руб.)

Первое управленческое решение – назначение объема заказов. Динамическая оптимизация производственного цикла осуществляется в следующей последовательности. На основе значений остатков ресурсов на начало периода (равных соответствующим остаткам на конец предыдущего периода), а также прогноза объема заказов показателей на t-й подпериод (при t= 1, …t) рассчитываются граничные значения ограничений и определяется оптимальное значение заказа по механизму. Затем производится расчет остатков ресурсов на конец t-ro подпериода по формулам, после чего повторяется расчет объем заказов для (t+l)-ro подпериода.

Второе управленческое решение – сокращение длительности производственного цикла. Результаты оптимизации выражают сокращение длительности производственного цикла, произошедшее за счет уменьшения объемов заказов и соответствующего снижения остатков ресурсов по кварталам планового года, суммарно за год с 286 до 246 дней. По сравнению с результатами статического моделирования плана на 2014 г. длительность цикла при динамическом моделировании ниже на 34 дня, что показывает значимость учета динамических факторов при формировании планов производственных заказов.

Общий экономический эффект при иммобилизации прибыли в запасах может составить 5,8 млн. руб. В процессе функционирования ИС можно накапливать в базе данных различные модели поведения, которые будут зависеть от вида принимаемых управленческих решений и исходных данных для их интеллектуальной обработки. Пользователь ИС будет располагать всеми вариантами моделей поведения, необходимых управления БП. Предложенный вариант архитектуры реализован с использованием средств Oracle APEX. Возможности Oracle scheduler используются для мониторинга сервисов в модуле управления шиной данных, ведение базы данных моделей поведения.

Список литературы

1. *Djajadikerta, H.G., Roni, S.M., Trireksani,* T. Dysfunctional information system behaviors are not all created the same: Challenges to the generalizability of security-based research // Information and Management, 2015, 52 (8), pp. 1012-1024. DOI: 10.1016/j.im.2015.07.008

2. *Щекочихин О.В., Шведенко В.В., Шведенко П.В.* Онтология понятий информационной системы с поведением // Научно-технический вестник Поволжья. №5 2016г.. – Казань: Научно-технический вестник Поволжья, 2016. С 223 – 226.

3. *Щекочихин О.В.* Объектно-процессная модель данных в управляющих информационных системах // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2017. Т. 17. № 2. С. 318–323. doi: 10.17586/2226-1494-2017-17-2-318-323.

4. *Щекочихин О.В., Шведенко В.Н.* Методическое обеспечение подготовки и принятия управленческих решений в информационных системах, обладающих свойством поведения // Информатизация и связь. №3 2017г. – Москва: АНО «Редакция журнала Информатизация и связь», 2017 ISNN 2078-8320.

5. Материалы сайта ООО «Завод приборных подшипников» [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.mbf-samara.ru, свободный. – Загл. с экрана.

6. Материалы сайта ОАО «Вологодский подшипниковый завод» [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.vbf.ru/, свободный. – Загл. с экрана.

05.13.06

Д.В. Шиляев, О.А. Билоус

ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», Пермь, boa@msa.pstu.ac.ru

ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ВЕНТИЛЯЦИЕЙ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЕМ НА БАЗЕ ПРОГРАММИРУЕМОГО ЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЛЕРА И РЕЛЕЙНОЙ ЛОГИКИ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-4-240-243

Рассмотрены технические решения, применяемые для автоматизации и диспетчеризации инженерного оборудования зданий и сооружений. Проведен анализ проекта механической инженерной системы вентиляции и кондиционирования офисного здания. Разработана автоматизированная системы для обеспечения комфортного микроклимата, для снижения энергозатрат и эксплуатационных издержек, для увеличения безопасности, для контроля износа оборудования и действий персонала, для упрощения управления системой в целом.

Ключевые слова: *автоматика вентиляции и кондиционирования, релейная логика, программируемый логический контроллер, микроклимат.*

Для обеспечения комфортного микроклимата, для снижения энергозатрат и эксплуатационных издержек, для увеличения безопасности, для контроля износа оборудования и действий персонала разработана автоматизированная система вентиляции офисного здания. Учитывая требования, предъявляемые к системам автоматизации вентиляции и функции управления в приточно-вытяжной вентиляции (ПВВ), была разработана трёхуровневая схема автоматизации системы вентиляции офисного здания (рис. 1).

Нижний уровень включает в себя: первичные измерительные преобразователи (датчики Danfoss температуры наружного воздуха ESMT, температуры канальный ESMB -12, температуры накладной PT1000 ESMC, реле перепада давления. 30..500 Па. PS500-SET01, Thermokon), исполнительные механизмы (трехходовые краны с электроприводом 24 VDC (4-20 мА), электропривод вентилятора (380 VAC), электропривод воздушной заслонки с концевыми переключателями (220 VAC), реле, контакторы).

Средний уровень включает в себя микропроцессорные регуляторы, осуществляющие в заданном цикле сбор измерительных данных, их обработку и передачу на верхний уровень (программируемый логический контроллер CX8090 с набором модулей ввода/вывода), преобразователи частоты (Danfoss FC101 3,0kW, IP20 3x380-480V 50/60Hz).

Верхний уровень включает в себя персональный компьютер с Modbus OPC DA/HDA (ИнСАТ) сервером и SCADA системой «MasterSCADA», который осуществляет сбор информации с контроллера среднего уровня, итоговую обработку этой информации, отображение и документирование данных контроля в виде, удобном для анализа и принятия решений оперативным и технологическим персоналом [1].



Рис. 1 – Структура системы автоматизации

Нижний уровень автоматизированной системы управления технологическим процессом (АСУ ТП) связан со средним уровнем измерительными каналамии дискретными линиями (0-10*V*, 4-20м*A*, *RTD*, 24*VDC*, 220*VAC*). Средний уровень АСУ ТП связан с верхним уровнем каналом связи, в качестве которого используется физическая проводная линия связи (*Ethernet*). Передача данных по этому каналу осуществляется по стандартному протоколу *Modbus* [2].

Схема автоматизации системы вентиляции (рис. 2) предусматривает снятие следующих сигналов: температуру наружного воздуха; положение воздушных заслонок в системах притока и выброса (открыта или закрыта); перепад давления на фильтре; авария и работа преобразователей частоты для двигателей секций вентиляторов в системах притока и выброса; температуру теплообменника секции нагрева, для защиты от замерзания; температуру теплоносителя в обратном трубопроводе секции нагрева; температуру воздуха после секции орошения; температуру воздуха поступающего в помещение; влажность воздуха в приточном и вытяжном воздуховодах; перепад давления на вентиляторах систем притока и выброса для контроля работы вентиляторов; пожар; сигналы из силовой части щита.

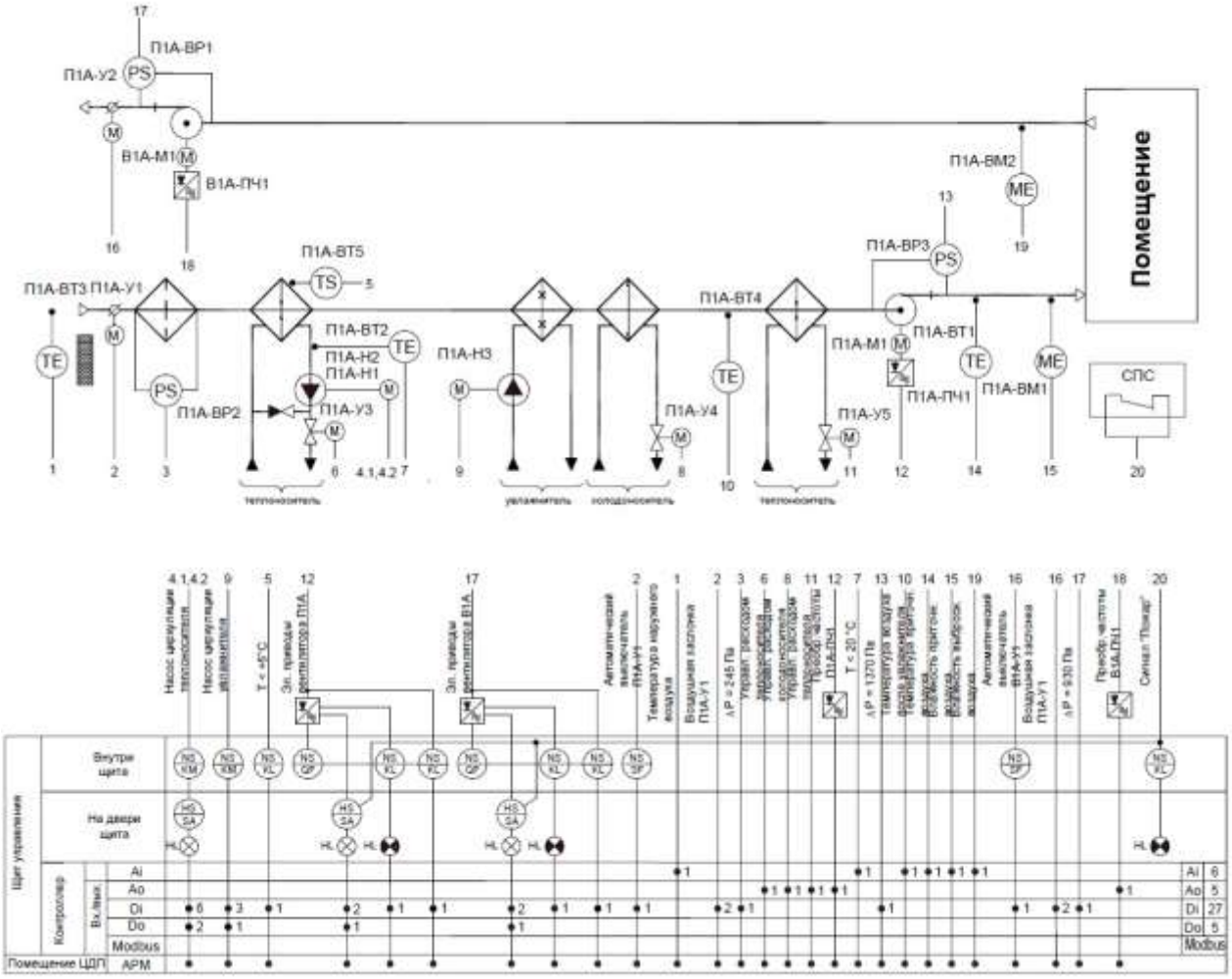


Рис. 2 – Схема автоматизации системы вентиляции

Схема автоматизации предусматривает выдачу следующих сигналов: дистанционный запуск насоса на обратном трубопроводе теплоносителя секции нагрева; дистанционное аналоговое управление приводами кранов на обратных трубопроводах секций нагрева, второго нагрева и охлаждения; дистанционный запуск насоса секции орошения; дистанционное управление преобразователями частоты для двигателей вентиляторов приточного и вытяжного воздуховодов (дискретные выходы на включение и аналоговое задание скорости вращения вентиляторов).

Для реализации функций системы автоматизации разработана электрическая принципиальная схема щита управления системой вентиляции (рис. 3).

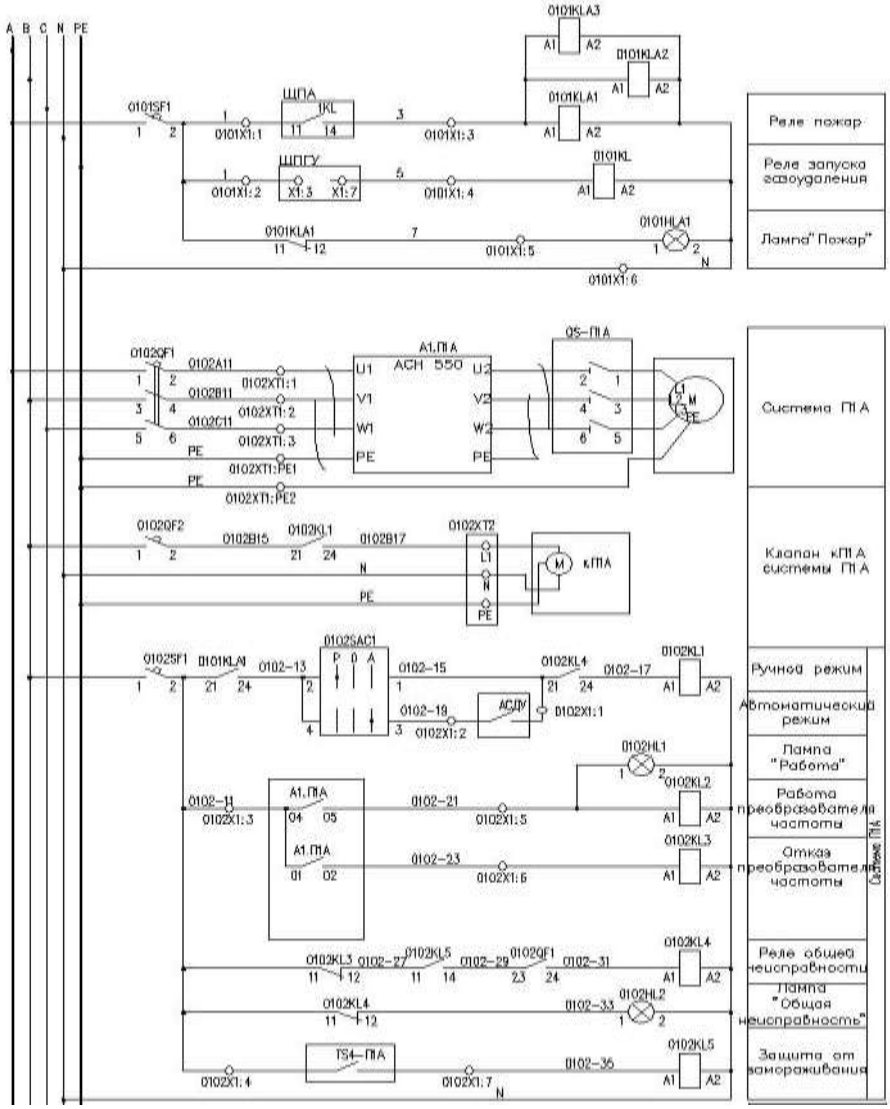


Рис. 3 – Фрагмент электрической принципиальной схемы щита управления

При поступлении сигнала из системы пожарной сигнализации (ЩПА) загорается красная сигнальная лампа «пожар», и подается сигнал на дискретный вход контроллера. Одновременно с этим снимается питание с цепей управления вентиляторов секций притока и выброса, воздушными заслонками на приточном и вытяжном трубопроводах. Следовательно, вентиляторы останавливаются, заслонки закрываются, тем самым прекращая принудительную циркуляцию воздуха в помещении.

При установке трехпозиционного переключателя 0102*SAC*1 в ручной режим, если щит не находится в аварийном режиме, подается питание на привод воздушной заслонки на приточном воздуховоде и посылается дискретный сигнал на преобразователь для включения двигателя секции вентилятора системы притока.

При установке переключателя 0102*SAC*1 в автоматический режим цепь управления проходит через дискретный выход контроллера, что позволяет осуществить программное управление. Важно отметить, что перед запуском вентилятора необходимо полностью открыть воздушную заслонку, во избежание её повреждения потоком воздуха. Для этой задачи необходимо выставить время задержки на запуск двигателя в преобразователе частоты. При установке переключателя в среднее положение производится ручная остановка.

При работе преобразователя частоты на нем замыкается первый контакт, который подает сигнал в схему щита. При поступлении этого сигнала в цепь загорается зеленая лампа «Работа» и через реле 0102*KL*2 подается сигнал на дискретный вход контроллера.

При аварии преобразователя частоты на нем замыкается второй контакт, который подает сигнал в схему щита. При поступлении данного сигнала в цепь замыкается реле 0102*KL*3, которое, в свою очередь, зажигает красную лампу «Общая неисправность» (через реле 0102*KL*4) и подает дискретный сигнал на вход контроллера, а также отключаются цепи управления задвижкой и преобразователем частоты.

Для автоматического управления системой необходим контроллер, удовлетворяющий следующим параметрам: наличие *Ethernet* порта для конфигурирования и диспетчеризации; достаточная мощность для управления технологическим процессом; модульная структура и широкий выбор модулей ввода/вывода (наличие модуля *KNX*); высокая надежность; небольшие габариты контроллера и модулей; поддерживание стандартных промышленных протоколов передачи данных [3]. Решающим фактором выбора свободно программируемого логического контроллера *CX*8090 стало наличие модуля для интеграции с шиной *KNX*(*KL*6301), так как в здании уже находится автоматизированная система управления освещением.

Список литературы

1. *Шиляев Д.В., Билоус О.А.* Проектирование системы автоматизированного контроля и управления подачи бумажной массы бумагоделательной машины Б-21АМ ООО «Прикамский картон» // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 8-1. – С. 148.

2. *Байгозин Д. В., Первухин Д. Н., Захарова Г. Б.* Разработка принципов интеллектуального управления инженерным оборудованием в системе «умный дом» // Известия Томского политехнического университета. – 2008, – № 5, – с.169.

3. *Латышев К. В.* Комплексотехника переустройства здания в «интеллектуальное здание» // Интернет-журнал «Науковедение». – 2013, – № 4– с. 5.

05.13.06

[1]И.А. Шмидт,[2]К.А. Механошин,[1]А.С. Семушева

[1]Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
электротехнический факультет, кафедра микропроцессорных средств автоматизации,
[2]Акционерное общество «Авиадвигатель»,
Пермь, shmidt-ia@yandex.ru

АВТОМАТИЗАЦИЯ БИЗНЕС-ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ И ОТПРАВКИ ЗАЯВКИ НА ИЗМЕНЕНИЕ КОНСТРУКТОРСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-4-244-247

Настоящая статья посвящена проблеме внедрения электронного документооборота в условиях предприятия. Для этого был рассмотрен уже существующий бизнес-процесс формирования и отправки заявки на изменение конструкторской документации. В ходе работы был проведен анализ процесса, выявлены недостатки и слабые стороны существующей системы. Для их устранения было предложено использовать PLM-систему TeamCenter. Был разработан новый бизнес-процесс, с учетом использования система электронного документооборота. После рассмотрения этого бизнес-процесса были сделаны выводы о целесообразности и адекватности использования данного решения, которое рекомендовано к внедрению.

Ключевые слова: *автоматизация, бизнес-процесс,PLM-система, конструкторская документация, SiemensTeamCenter, управление конфигурацией.*

Согласно программе «Развития авиационной промышленности на 2013-2025 годы» для авиационного двигателестроения главной целью является - формирование глобально конкурентоспособной двигателестроительной отрасли мирового уровня [5].

Крупные предприятия, связанные с авиационной промышленностью, ежедневно сталкиваются с огромным количеством документов, в частности изменение конструкторской документации. Решение, которое позволит оптимизировать этот процесс - внедрение PLM-системы, которая позволит быстро рассматривать и принимать решение по заявкам в режиме «реального времени», а также поможет создать конкурентоспособность. Внедрение и изменение данного процесса будет проходить согласно международному стандарту ГОСТ Р ИСО 10007-2007 "Менеджмент организации. Руководящие указания по управлению конфигурацией".

На сегодняшний день процесс изменения КД состоит из трех этапов.

На **первом этапе** происходит оформление и первичное согласование заявки на изменение КД. Заявка отправляется на подпись начальнику технического отдела или руководителю сектора. В случае если изменение КД затрагивает процессы другого подразделения, то заявка также согласуется с руководителем этого подразделения. Далее регистрируется в журнале заявок, ей присваивается номер. Зарегистрированная заявка отправляется в отдел технической документации (ОТД).

Второй этап– регистрация заявки в электронном журнале. В случае наличия всех необходимых данных на бланке заявки, она регистрируется в электронном журнале ОТД; в противном случае заявка отправляется обратно на доработку. Далее бланк сканируется и размещается в электронном архиве заявок и передается в конструкторский отдел (КО).

На **третьем этапе** происходит рассмотрение заявки в КО. Делопроизводитель КО производит регистрацию заявки в журнале. При наличии подписи руководителя отдела и согласования со смежными отделами, исполнитель подготавливает решение. Решение согласуется с начальником отдела либо его заместителем. В случае если отсутствуют

подпись начальника, или согласование, заявка отправляется на доработку. После согласования решения, исполнитель подготавливает извещение об изменении. Извещение подписывается руководителем, отдается на регистрацию в ОТД, которое, в свою очередь, выпускает извещение об изменении КД.

Схема существующего бизнес-процесса с участками, которые подвергнутся изменению либо упразднятся, представлена на рисунке 1.

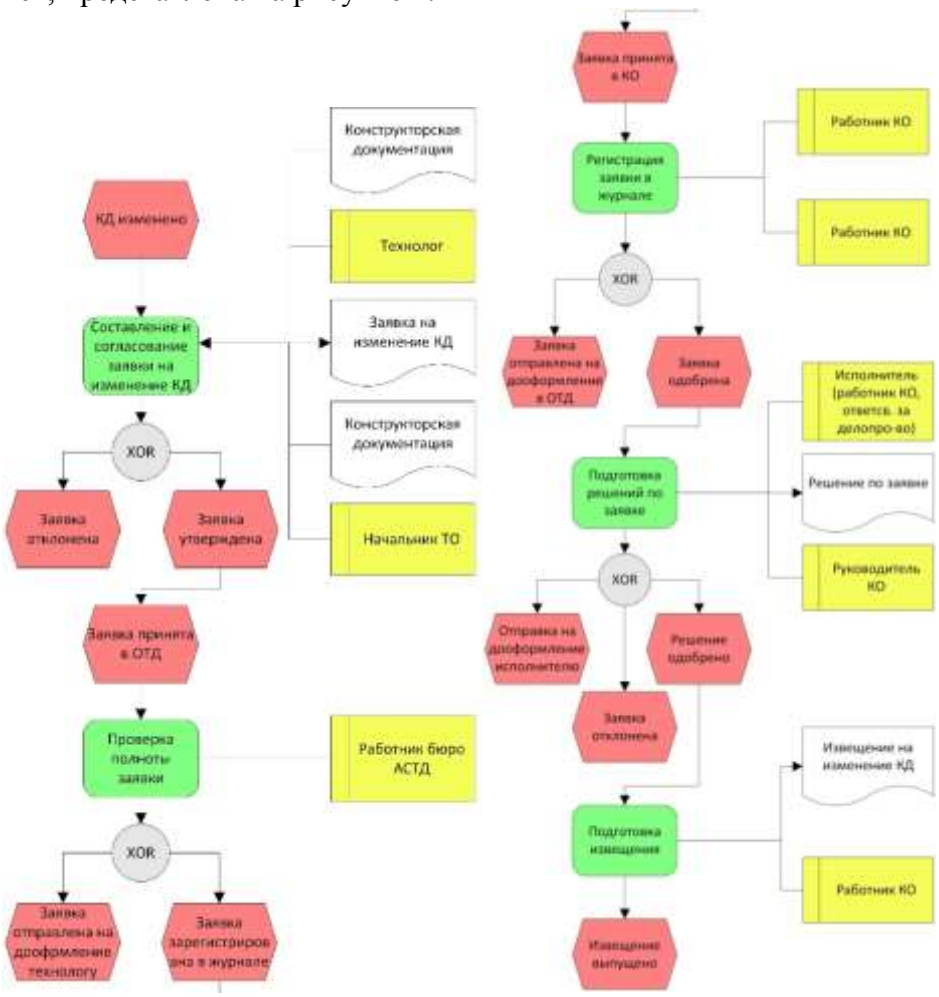


Рис. 1 – Схема бизнес-процесса формирования и отправки заявки на изменение КД

В ходе анализа бизнес-процесса, были выявлены серьезные недостатки:

- Децентрализованное хранение заявок и извещений.
- Отсутствие информации о статусе заявки в режиме «реального времени».
- Серьезные затраты времени на передачу документов от отдела к отделу, а также «пролёживание» документа при согласовании.
- Материальные затраты на дублирование и хранение документов.

В целом, процесс представляет собой громоздкий и очень медленный механизм, для нормального функционирования которого требуется большое количество ресурсов. Одним из вариантов решения проблемы автоматизации является переход к электронному документообороту в отношении этого вопроса.

Переход к электронному документообороту решает следующие проблемы:

- Обеспечение доступа к документам.
- Однократная регистрация документа.
- Возможность отслеживания статуса заявки или извещения в режиме «реального времени».
- Сокращение времени на отправку и согласование документов.
- Эффективно организованная система поиска документа, позволяющая находить документ, обладая минимальной информацией о нём
- Централизованное хранение.

В качестве для реализации наиболее удобным решением является использование PLM-системы Teamcenter (TC) производства компании Siemens.

Основными ее преимуществами перед конкурентами при решении конкретно это задачи, являются:

- PLM-система TC введена в промышленную эксплуатацию с 2006, поэтому нет необходимости в трате время и средств на внедрение и обучение специалистов [7].
- Система относительно просто настраивается под нужды любого предприятия.
- Система позволяет формализовать и алгоритмизировать все стадии изменения КД.
- Обеспечивает работы с документом в режиме реального времени.
- Все заявки, извещения и документы можно связать между собой, что позволит более полно рассматривать текущую проблему.
- Ускорение процесса согласования заявок и извещений.

Использование данной PLM-системы позволит внести изменение в БП без больших затруднений, для ее адаптации под нужды производства, необходимо всего лишь разработать вспомогательное программное обеспечение, позволяющее реализовать требуемые возможности [4].

Внедрение новой системы документооборота также будет состоять из этапов, представленных на рисунке 2.

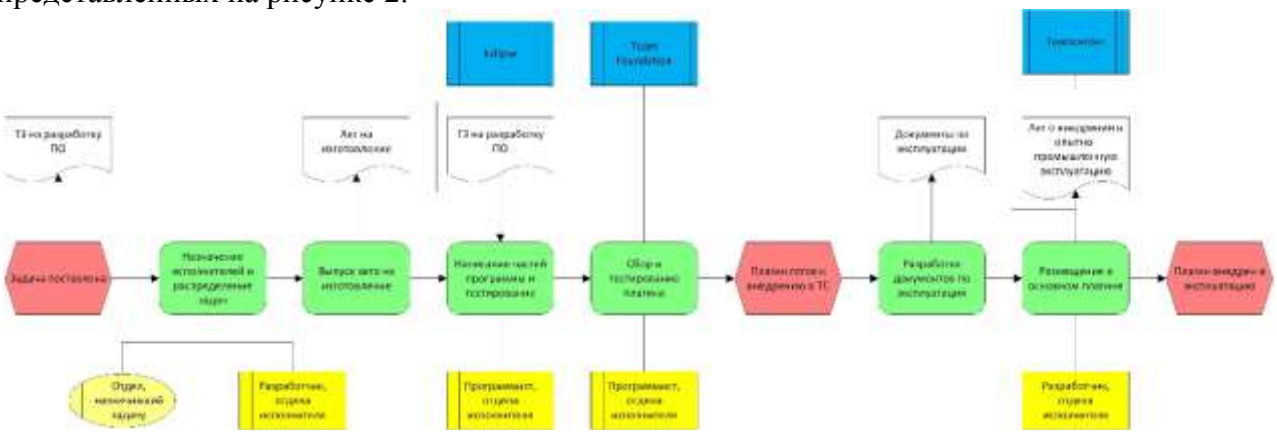


Рис. 2 – Процесс внедрения подсистемы

Ставится задача на разработку вспомогательного ПО для Teamcenter и, на основе организационного решения, разрабатывается техническое задание (ТЗ). Назначается отдел, который будет заниматься ей, и внутри него, между сотрудниками, распределяются задачи. После того, как все задачи выполнены, происходит сбор и тестирование плагина. Когда плагин готов к эксплуатации, выпускается соответствующее акт о его внедрении, а также - нормативные документы о его эксплуатации.

С учетом всех изменений, схема бизнес-процесса будет выглядеть, как представлено на рисунке 3.

Как можно заметить, с внедрением PLM-системы TC, некоторые операции, проводимые над документами, были упразднены, а работники, выполняющие их – распределены на другие задачи. Все регистрации и присваивание номеров в электронном журнале происходят автоматически.

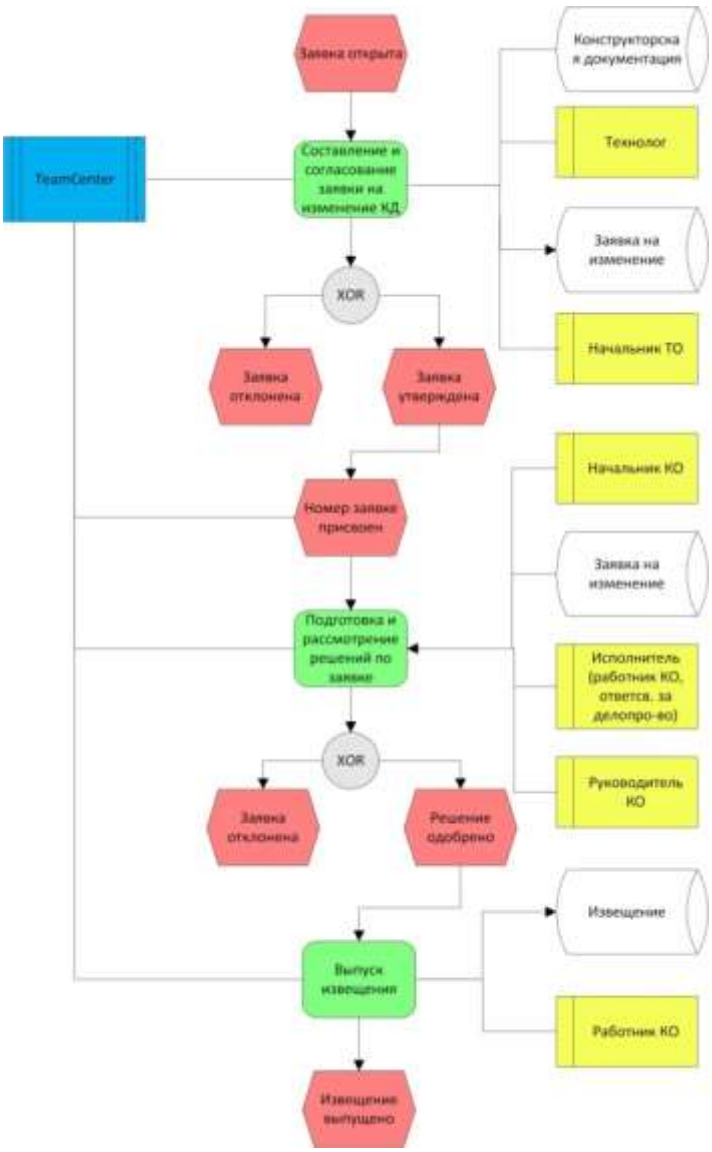


Рис. 3 – Схема бизнес-процесса, после внедрения системы «TeamCenter»

Список литературы

1. *Валетов И.И., Шмидт И.А.* Интегрированная информационная среда поддержки жизненного цикла авиационного двигателя в части анализа логической поддержки // Журнал "Фундаментальные исследования" - 2016. № 11-3. С. 495-499

2. *Шмидт И. А., Бормалев С. В., Мехоношин К. А.* Концепция управления конфигурацией и организацией технологической подготовки сборочного производства авиационных двигателей // Вестник Московского авиационного института. 2017, Т.24, №2, С. 123-131

3. *Бормалев С.В.* Решение SimensPLMSoftwere модернизируют производство российских авиадвигателей // Журнал САПР "Геоинформационные технологии" Спецвыпуск №3. 2010. С.54-57

05.13.06

И.А. Шмидт, А.А Шергина

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
электротехнический факультет, кафедра микропроцессорных средств автоматизации,
Пермь, shmidt@msa.pstu.ru

ИСПЫТАТЕЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО. УРОВНИ ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА. РЕАЛИЗАЦИЯ ТРЕТЬЕГО УРОВНЯ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-4-248-251

Рассмотрено понятие «испытательное производство», и его место при проведении испытаний сложных технических изделий. Представлен вариант реализации «третьего» уровня предприятия и его интеграции с нижними уровнями, описаны функции и задачи каждого из уровней. Отслежена связь жизненного цикла изделия с третьим уровнем испытательного производства.

Ключевые слова: испытательное производство, третий уровень.

Испытательное производство является неотъемлемой и важной частью процесса изготовления сложного технологического изделия (СТИ) и включает в себя такие виды испытаний, как: доводочные, предварительные и приёмочные, они могут различаться по методам, продолжительности, месту проведения и регистрируемым параметрам. Испытаниям могут подвергаться изделия:

– которые были изготовлены и в данное время проходят проверку;
– которые нуждаются в доработке и проверке их работоспособности;
– которые прошли ремонтные работы;
– которые были модифицированы или улучшены.

Суть остаётся одна – проверить сложное техническое изделие на наличие неисправности, чтобы избежать непредвиденных последствий до того момента, когда агрегат/деталь/узел будет эксплуатироваться.

В ходе испытательного производства происходит запись информации, которая представляет собой различные параметры, зависящие от вида испытания и испытуемого изделия. Эти параметры должны сохраняться, и в дальнейшем использоваться для анализа состояния СТИ после проведения испытаний. Это позволяет выявить неисправности и недостатки объекта ещё на стадии его производства. Испытания могут проходить длительное время и требовать большой частоты опроса (до 200 кГц), при этом необходимо обеспечить хранение и доступность всех регистрируемых параметров.

Автоматизированный сбор, хранение и анализ информации в настоящее время проводят с применением двухуровневой архитектуры.

Нижний уровень. Задачи данного уровня следующие:

- Прием сигналов с первичных преобразователей (датчиков), преобразование этих сигналов к одному уровню (как правило, усиление, например, для термопар), фильтрация (при необходимости) и далее аналогово – цифровое преобразование и передача на верхний уровень. Прием и преобразование дискретных сигналов.
- Прием информации с верхнего уровня и выдача сигналов управления на требуемые исполнительные устройства.

Верхний уровень. Верхний уровень предназначен для:

- Формирования и принятия решений на уровне системы в целом.
- Выдачи управляющих команд на исполнительные устройства стенда при использовании интуитивно понятного интерфейса.

- Отображения состояния всех исполнительных устройств и первичных преобразователей.
- Непрерывного осциллографирования всех событий с возможностью графического просмотра.
- Калибровки измерительных каналов.

На верхнем уровне происходит локальное управление испытанием: формирование и принятие решений о непосредственном его проведении ведётся учёт параметров и их изменений.

В настоящее время результаты испытаний хранятся в виде обычных плоских файлов. Так как записанная информация актуальна только в контексте текущего испытания, то получение данных из файлов, относящихся к прошедшим испытаниям, не может быть формализовано и автоматизировано. Такое хранение делает невозможным выполнение сложных запросов, которые объединяют данные различных испытаний.

Далее будет рассмотрен вариант реализации дополнительного уровня – третьего.

Третий уровень. Третий уровень – это уровень получения и хранения информации о прошедших испытаниях на разных стендах для инженерных служб предприятия.

Данные хранятся в однотипном виде (независимо от вида испытания) и удобном для оператора виде, что позволяет проводить поиск информации и её извлечение по запросам, формирование таблиц и проведение расчётов, а также построение графиков и выдачу протоколов испытаний.

Третий уровень является единой базой данных предприятия, которая объединяет все стенды предприятия и рабочие станции в единую сеть.

Такой подход как раз-таки и способствует долговременному хранению информации по каждому испытанию, СТИ или же отдельному узлу, быстрому доступу к данной информации как в пределах предприятия, так и вне его пределов благодаря доступу в глобальную сеть – Интернет.

Построение единой базы данных с изменяющейся структурой должно быть реализовано по принципу дополнения, т.е. при изменении структуры базы должно происходить её расширение, без потери хранящихся данных. Кроме того, база данных должна обеспечивать согласованность, необходимую степень доступности, а также устойчивость к разделению.

Традиционные промышленные реляционные СУБД хорошо подходят для оперативного сбора данных, однако они не приспособлены для эффективного хранения и обработки временных рядов – информации, собираемой в процессе испытания с привязкой к моменту времени.

Поскольку основная особенность разрабатываемого решения заключается в разнородности содержащейся информации, то оптимальным решением является применение документо-ориентированной СУБД, которая позволяет использовать базы данных нестрогой структуры с возможностью динамического расширения [1].

На рисунке ниже приведена возможная реализация третьего уровня в связи с нижними уровнями.

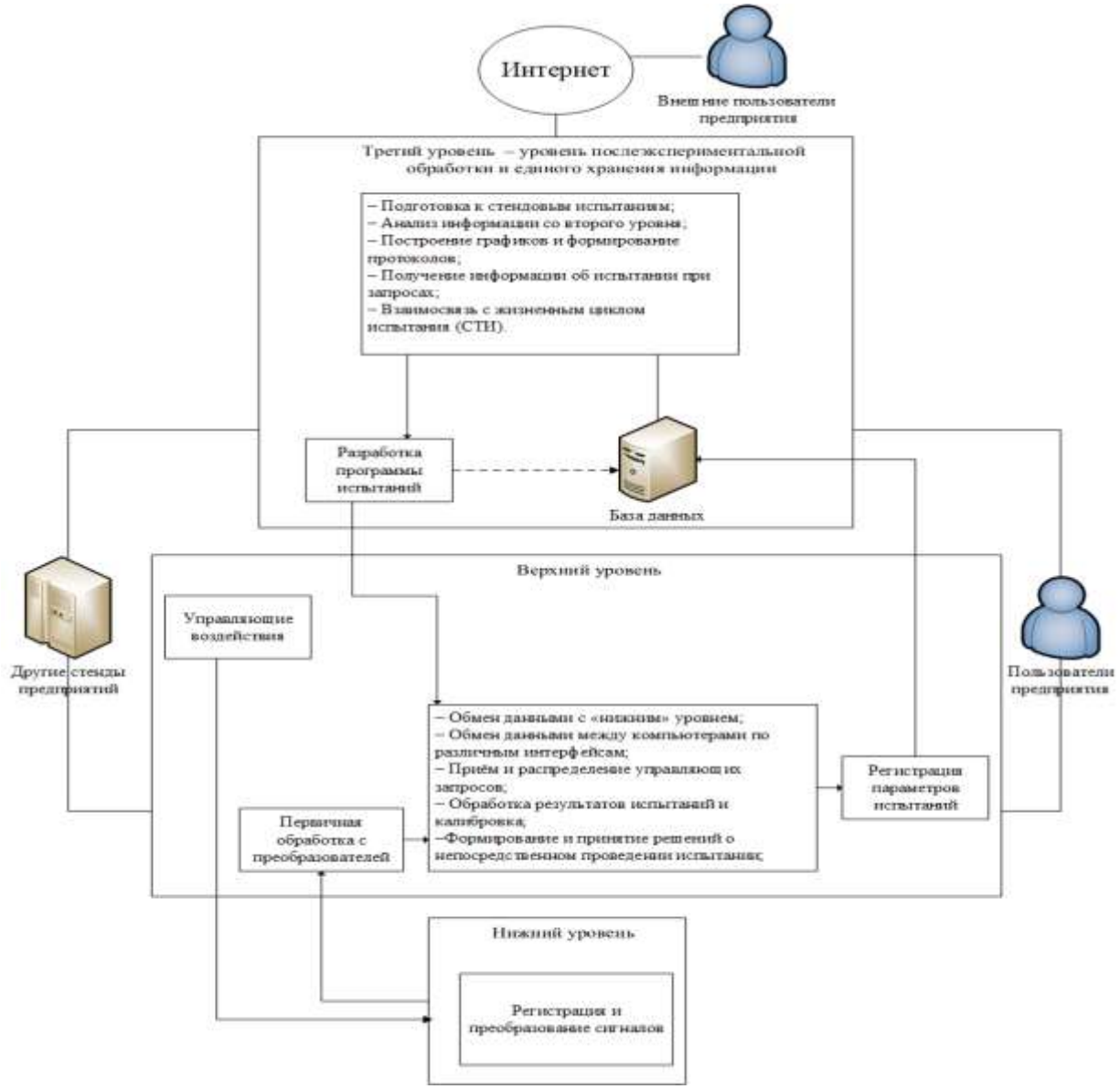


Рис. 1 – Вариант реализации третьего уровня в связи с нижним и верхним уровнями

Испытательное производство и жизненный цикл СТИ. Поскольку испытание является сложной задачей, то данным процессом занимаются предприятия, специализация которых структурирована в зависимости от области испытуемого СТИ (к примеру, испытание авиационного двигателя происходит на предприятии авиационной отрасли).

Следовательно, испытание имеет свой жизненный цикл (ЖЦ) на предприятии. Другими словами, сбор данных во время стендовых испытаний СТИ должен образовывать жизненный цикл этого изделия.

Жизненный цикл отдельного СТИ - последовательность процессов от начала запуска изделия в производство до его утилизации или вывода из строя. Рассмотрим ЖЦ изделия на этапе испытания и его выпуска.

Исходные данные можно представить в виде последовательности значений, соотнесенных с определенным моментом времени. ЖЦ изделия может выглядеть как временной ряд, на котором визуально отражены временные метки (дата, время) поступления СТИ в цех, обозначены операции, проводимые над изделием, а также отметки начала и конца интервалов, в которые проводилась та или иная операция. По временной отметке можно узнать исходные данные и время, когда они были получены.

После эксплуатации изделие возвращается обратно на предприятие для проведения регламентных работ (например, после работы газотурбинной установки в течение ~ 50 часов), и его повторно испытывают. СТИ могут испытывать не только после его

эксплуатации, но и после проведения ремонта или модернизации. В любом случае все данные будут занесены в базу данных (третий уровень)

Благодаря автоматизированному управлению данными этапами жизненного цикла изделия (продукции) обеспечиваются высокий уровень надёжности изделия, его эффективность и конкурентоспособность.

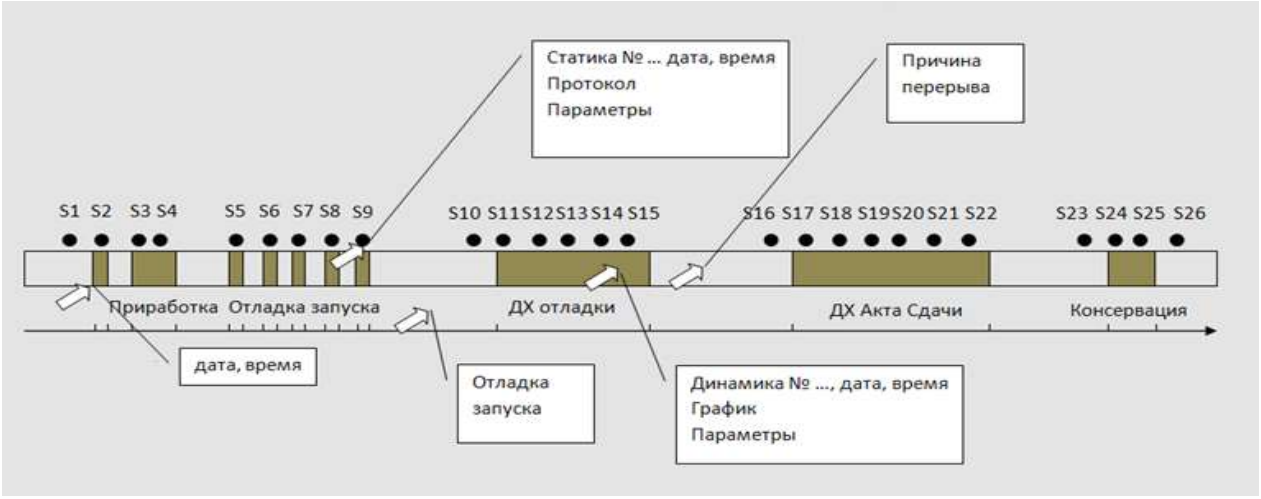


Рис. 2 – Жизненный цикл изделия в виде временного ряда

Испытательное производство является основой объективной оценки технического уровня предприятия, качества изготовления СТИ и принятия соответствующих решений на всех стадиях жизненного цикла изделия (при постановке его на производство, аттестации по категориям качества, определении возможности продолжения или прекращения его выпуска и др.).

Заключение. В статье было рассмотрено понятие «испытательное производство» и то, какие преимущества оно несёт с собой; описано, что представляет собой нижний и верхний уровни АСУ ТП испытаний, какие функции они выполняют; представлен возможный вариант реализации третьего уровня, который хранит в себе всю исходящую и приходящую информацию с нижних уровней. Также в статье показана взаимосвязь испытательного производства с жизненным циклом изделия.

Список литературы

1. *Попов Д.А., Шмидт И.А.* Разработка системы управления архивными данными испытаний газотурбинных установок большой мощности //Современные проблемы науки и образования. 2014. № 2.

05.13.18

А.Г. Щербинин, А.С. Мансуров, А.А. Порошин

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
электротехнический факультет, кафедра Конструирование и технологии в электротехнике,
Пермь, ktei@pstu.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКЦИИ КАБЕЛЬНОГО ЭКРАНА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭКРАНИРОВАНИЯ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-4-252-254

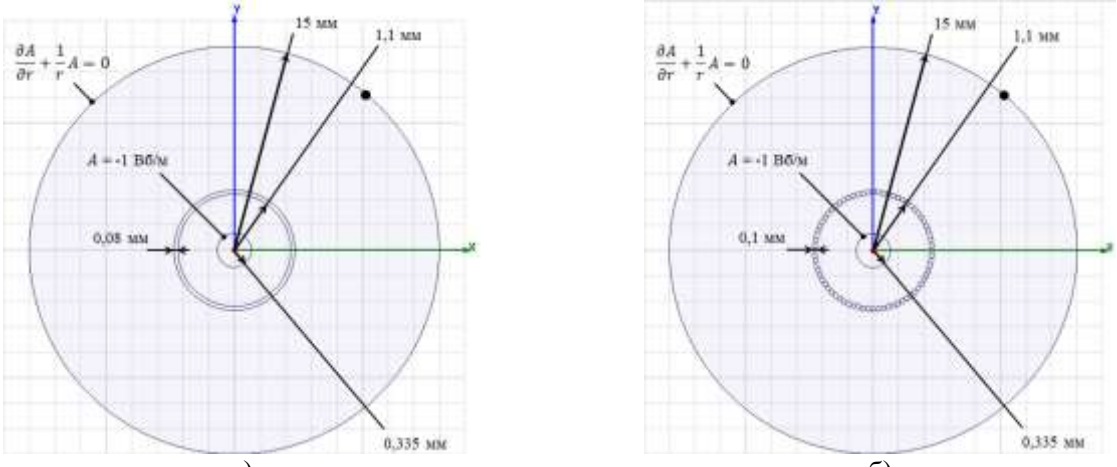
Используя математическое моделирование, проведены численные исследования влияния конструкции кабельного экрана в виде оплетки из проволок на эффективность экранирования в диапазоне частот от 100 кГц до 10 МГц. С помощью метода конечных элементов в программном комплексе ANSYS получены распределения напряженности магнитного поля в исследуемой области при наличии и отсутствии экрана, по результатам, которых определено затухание экранирования.

Ключевые слова: *исследование, эффективность экранирования, проволочные экраны, математическое моделирование, ANSYS.*

Основной защитой электротехнических устройств от воздействия электромагнитных полей, является экранирование [1-4]. Обычно для изготовления электромагнитных экранов применяются такие материалы как медь, алюминий или сталь. Эффективность экранирования можно оценивать с помощью коэффициента экранирования S, определяемого отношением напряженностей электрического или магнитного поля в защищаемой области при наличии экрана и при его отсутствии [1-4], либо по величине затухания экранирования

$$A_Э = 20\lg|1/S| = 20\lg\left|H/H^Э\right|. \quad (1)$$

Исследование эффективности экранирования проводится для проволочного электромагнитного экрана. Полученные значения будем сравнивать со значениями затухания экранирования для сплошного цилиндрического экрана, эквивалентного поперечного сечения. В связи с тем, что затухание экранирования для электрического поля обычно больше затухания экранирования для магнитного поля, будем рассматривать экранирование от переменного магнитного поля. Геометрии области исследования медного цельного и проволочного экрана представлены на рисунке 1. Источником поля является заданный на поверхности жилы векторный магнитный потенциал $A = -1$ Вб/м. Магнитное поле во времени изменяется по синусоидальному закону в диапазоне частот от 100 кГц до 10 МГц.



а) б)

Рис. 1- Геометрические размеры экрана и исследуемая область:
а) цельный, б) проволочный.

Задача двумерная, т.к. пренебрегаем градиентом поля по продольной координате. Электромагнитные параметры рассматриваемых сред постоянны и изотропны. [4]

В результате дифференциальное уравнение для комплексной амплитуды векторного магнитного потенциала будут выглядеть следующим образом [1, 2, 5, 6]:

для проводящей среды

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{1}{\mu_a}\frac{\partial A}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{1}{\mu_a}\frac{\partial A}{\partial y}\right)-i\omega\sigma A+J_s=0, \quad (2)$$

$$-i\omega\sigma A+J_s=J, \quad (3)$$

для диэлектрической среды

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{1}{\mu_a}\frac{\partial A}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{1}{\mu_a}\frac{\partial A}{\partial y}\right)=0. \quad (4)$$

где A – магнитный векторный потенциал, Вб/м; μ_a– абсолютная магнитная проницаемость, Гн/м; σ – удельная электропроводность, См/м;

J – результирующая плотность тока ($J=0$), А/м^2; J_s – плотность тока, определяемая законом Ома в дифференциальной форме, А/м^2.

На бесконечном удалении от экрана магнитный потенциал равен нулю и задается граничным условием Робина $\partial A/\partial r+(1/r)A=0$;. На границах раздела сред задано равенство магнитного потенциала по разные стороны границы.

Оценка адекватности математической модели (2)–(4) проводилась путем сравнения с аналитическим решением.[4]

Используя конечно элементный поход решения уравнений (2)–(4) в программном комплексе ANSYS получены распределения магнитного потенциала при отсутствии и при наличии экрана, по которым произведено вычисление напряженностей магнитного поля. По результатам численных исследований для точки с координатами *x*=10,6 мм, *y*=10,6 мм по формуле (1) рассчитаны значения затухания экранирования в диапазоне частот от 100 кГц до 10 МГц. На рисунках 2-5 приведены графики изменения затухания экранирования от частоты для проволочного и цельного экранов с эквивалентными сечениями: 0,56 мм^2; 0,28 мм^2; 0,18 мм^2; 0,14 мм^2.

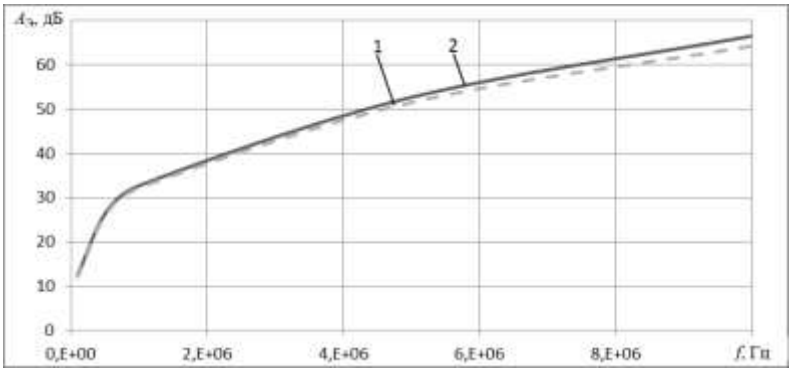


Рис. 2- Затухание экранирования от частоты для экрана сечением 0,56 мм^2:
1- Цельный, 2- Проволочный.

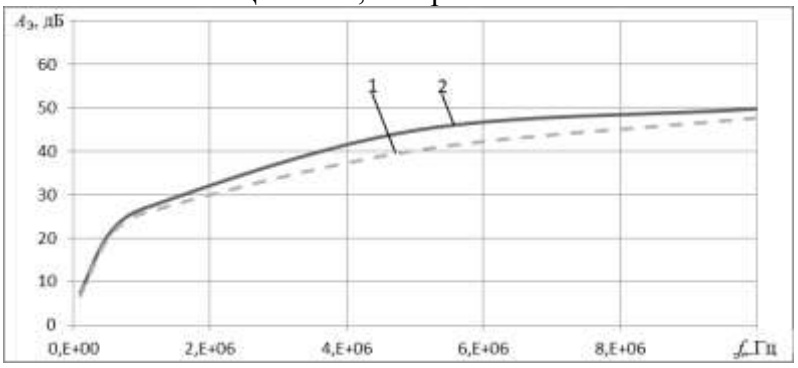


Рис. 3- Затухание экранирования от частоты для экрана сечением 0,28 мм^2:
1- Цельный, 2- Проволочный.

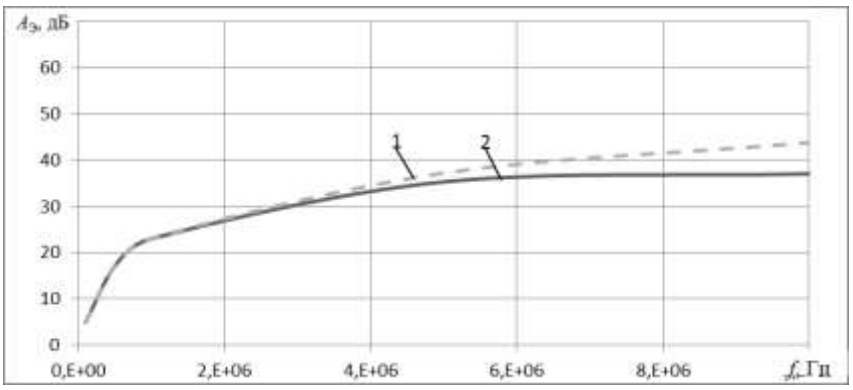


Рис. 4- Затухание экранирования от частоты для экрана сечением 0,18 мм^2:
1- Цельный, 2- Проволочный.

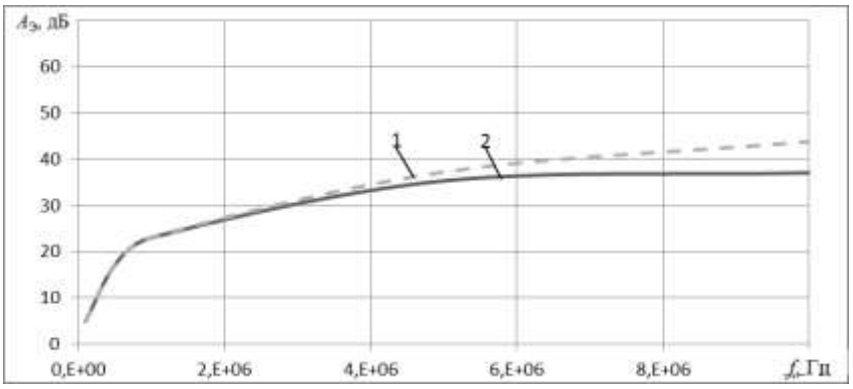


Рис. 5- Затухание экранирования от частоты для экрана сечением 0,14 мм^2:
1- Цельный, 2- Проволочный.

По графикам затухания экранирования видно, что с увеличением частоты и уменьшением плотности оплетки, если сравнивать с цельным экраном, затухание экранирования проволочного экрана увеличивается незначительно. Это связано с тем, что магнитное поле проходит через неоднородности проволочного экрана.

Список литературы

1. *Андреев В.А., Портнов Э.Л., Кочановский Л.Н.* Направляющие системы электросвязи: учебник для вузов. Т. 1: Теория передачи и влияния. М.: Горячая линия-Телеком, 2011. 422 с.
2. *Шапиро Д. Н.* Электромагнитное экранирование. Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект». 2010. 120 с.
3. *Otin R., Verpoorte J., Schippers H.* Finite Element Model for the Computation of the Transfer Impedance of Cable Shields // IEEE Transactions On Electromagnetic Compatibility. 2011. Vol. 53, no. 4. Pp. 950-958.
4. *Щербинин А.Г., Мансуров А.С., Порошин А.А.* Математическое моделирование электромагнитных процессов цилиндрических экранов // Научно-технический вестник Поволжья. 2016. № 4. С. 123-125.
5. *Соловейчик Ю.Г., Рояк М.Э., Персова М.Г.* Метод конечных элементов для решения скалярных и векторных задач. Новосибирск: Изд-воНГТУ. 2007. 896 с.
6. *Weiss, J.; Csendes, Z.*: A one-step finite element method for multiconductor skin effect problems // IEEE Trans. Power Appar. Syst. 1982. Vol. 101. Pp. 3796-3803.

05.13.06

А.С. Якутов, К.А. Борковец, А.В. Ромодин

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, электротехнический университет, кафедра микропроцессорных средств автоматизации, Пермь, yakutovandrei@bk.ru

ПРИМЕНЕНИЕ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО КОНТРОЛЛЕРА В СИСТЕМЕ АВТОМАТИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-4-255-257

В статье рассматриваются многофункциональные контроллеры применяемые для систем автоматизации. Для рассмотрения были взяты наиболее распространённые на рынке модели контроллеров и произведен их сравнительный анализ. Разработана и представлена структурная схема системы автоматизации распределительного пункта с использованием в качестве головного элемента многофункционального контроллера, а та же разработан алгоритм отключения системы электроснабжения при коротком замыкании в сети и обнаружения места возникновения токов короткого.

Ключевые слова: *многофункциональный контроллер, система автоматизации, система электроснабжения, логические схемы.*

Существующая система релейной защиты и автоматики распределительной сети среднего и низкого напряжения объекта РП «Правобережная» ОАО МРСК «Урала» состоит из морально устаревших устройств и обладает ограниченным функционалом. Исходя из этого степень надежности распределительной сети находится на достаточно низком уровне, а, следовательно, не дает возможности осуществлять качественное и бесперебойное электроснабжение потребителей. Передовым решением повышения надежности электроснабжения потребителей стало автоматизация системы распределения энергии малого и среднего напряжения с внедрением многофункциональных контроллеров.

Внедрение многофункциональных контроллеров позволяет модернизировать существующую систему распределения электрической энергии без внесения масштабных изменений в комплектации действующих элементов.

Еще одним преимуществом микропроцессорных контроллеров является значительная гибкость, что позволяет учитывать специфические потребности предприятия.

Рассмотрим наиболее популярные многофункциональные контроллеры, применяемы в автоматизации систем электроснабжения и сравним их. Произведем оценку функционала контроллеров по бальной системе. Просуммировав полученные баллы, мы сможем проранжировать системы, и выбрать оптимальную.Результаты сравнения представлены в таблице 1.

В результате сравнения многофункциональных контроллеров с использованием метода «ранжирования» наилучшие результаты показал контролер SPRECON-E-C. Функционал данного контролера наиболее широк и позволяет в значительной мере повысить надежность системы электроснабжения.

Данный контроллер имеет структурные функции логической обработки принимаемых сигналов и свободно программируемую логику в соответствии со стандартом МЭК 61131.

Для программирования контроллера будет использоваться графический язык диаграмм функциональных блоков (Function Block Diagram)входящий в состав стандарта МЭК 61131. Данный язык использует различные функциональные блоки между входными и выходными переменными.

Таблица 1 – Сравнение многофункциональных контроллеров.

	ARIS MT200	ARIS MT700	SPRECON-E-C	МФК 1500
Количество обрабатываемых алгоритмов	2	1	2	1
Поддержка смежных устройств	2	1	2	1
Поддержка языков программирования	1	1	2	2
Вычислительная мощность	2	0	2	1
Удаленное параметрирование	2	1	2	1
Оптимизация режимов сети	1	1	2	1
Локализация повреждения	2	1	2	1
Автоматическое повторное включение	2	2	2	2
АВР	2	2	2	2
Сбор информации о положении КА	1	0	2	1
Элементы информационной защиты	2	1	2	2
Регулирование напряжения	1	1	2	1
Самодиагностика	2	0	2	1
Блокировка управления КА	2	1	2	2
Сбор информации о состоянии оборудования	1	1	2	1
Визуализация аварийных сигналов	2	1	2	0
Сумма баллов	27	15	32	20

Средой разработки была выбрана программа Soft Constructor. Данная программа доступна и не требует специальных знаний для ее освоения поэтому для создания логических схем программируемого контроллера будем использовать именно ее.

На рисунке 1 представлен алгоритм, реализованный в среде SoftConstructor для процесса отключения питания при коротком замыкании цепи ифункция расчета длины до места возникновения короткого замыкания, что позволит уменьшить время для устранения данной неисправности. Входными параметрами данной логической схемы будут является значения тока обратной последовательности на начальном и конечном участках цепи – I_1 и I_2,тока протекающего по цепи I,значения напряжения обратной последовательности в этих же точках U_1 и U_2, удельное сопротивление и сопротивление цепи соответственно z_0,z_1 среднее напряжение U_c, коэффициент надежности $K_н$ и длина защищенного участка цепи $L_з$.

Логическая схема представляет собой запись расчетов тока короткого замыкания и расстояния до точки короткого замыкания.

$$I_{кз} = \frac{U_c}{\sqrt{3}*z_1};\ L = \frac{I_2 * z_1 + U_2 - U_1}{z_0 * (I_1 + I_2)};$$

Для реализации схемы использовались тестовые данные задающиеся для каждого параметра в режиме отладки. В режиме реальной работы данного алгоритма данные будут транслироваться через каналы обмена данными с соответствующими датчиками, установленными в системе и подключёнными к многофункциональному контролеру.

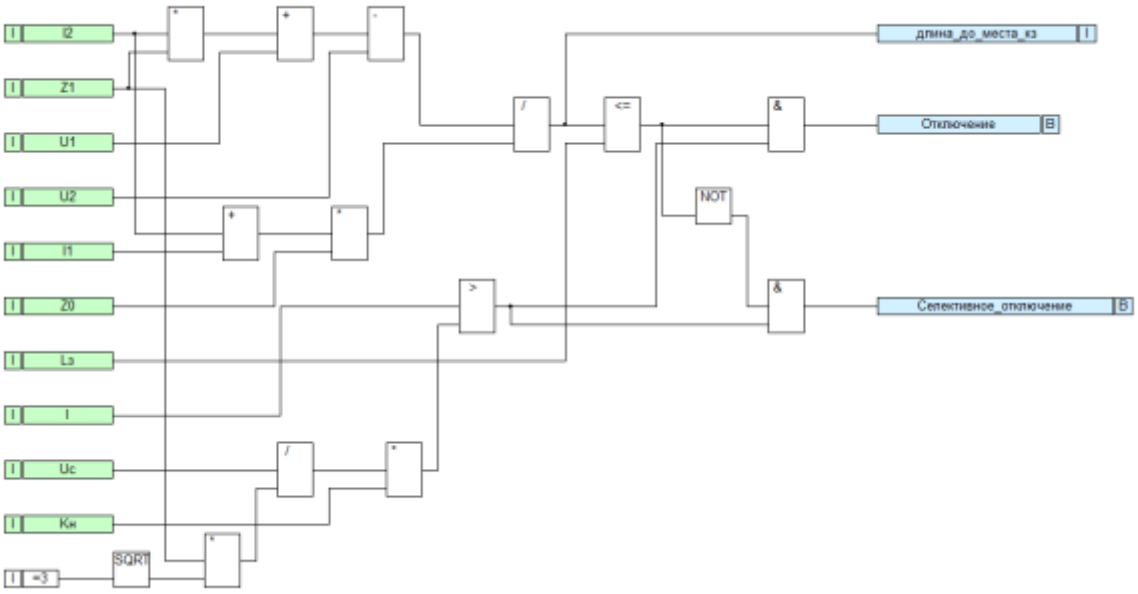


Рис. 1 – Логическая схема отключения питания при коротком замыкании.

В ходе данного тестирования было выяснено, что система работает и отвечает всем заложенным в нее требованиям.

В ходе сравнительного анализа различных многофункциональных контролеров наилучшие результаты показал контроллер SPRECON-E-C. Данный контроллер обладает широким функционалом, высокой производительностью и способностью адаптироваться в различные системы электроснабжения, так как обладают широкой совместимостью с элементами сети. Созданный алгоритм обнаружения места короткого замыкания и аварийного отключения при его возникновении протестирован и отвечает всем требованиям, а значит может быть использован на предприятии.

Список литературы

1. *ЧжоЗо Е, ТайкАунгЧжо, Баин А. М., Касимов Р. А.* Методика повышения эффективности межмодульных информационных обменов в автоматизированных системах управления объектами энергетики // Вести высших учебных заведений Черноземья. 2013. Т. 31, № 1. С. 49—53.

2. *Баин А. М.* Новые теоретические подходы к созданию многофункциональных систем управления в энергетике повышенной достоверности // Фундаментальные исследования. 2014. № 3. С. 701—705.

3. *Лисов О. И., ЧжоЗо Е, ПайеТэйнНаинг.* Методика оптимизации управления технологическими процессами распределенных систем // Изв. вузов. Приборостроение. 2014. Т. 57, № 3. С. 26—30.

4. *Шнепс-Шнеппе М. А., Намиот Д. Е.* Об эволюции телекоммуникационных сервисов на примере GIG //InternationalJournalofOpenInformationTechnologies. – 2015. №. 1. – С. 1-13.

5. *Воротницкий, В.Э.* Снижение потерь электронергии – важнейший путь энергосбережения в электрических сетях / В.Э. Воротницкий // Энергосбережение. – 2014. – С. 61–64.

6. *Надтока, И.И.* Методика учета формы графиков нагрузки при расчетах потерь электроэнергии в сетях 6–10 кВ / И.И. Надтока, О.Г. Сколпина // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. – 2014. – № 6 (181). – С. 32–35.

7. *Белей, В. Ф.* Стандарты в области качества электроэнергии // Информационные ресурсы России. – 2016,№ 1. – С.10-14.

8. *Васильев, Б.Ю.* Электропривод. Энергетика электропривода: учеб. / Б.Ю. Васильев. – М.: СОЛОН-Пресс, 2015. – 268 с.

05.13.00

А.С. Якутов, А.В. Ромодин

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, электротехнический университет, кафедра микропроцессорных средств автоматизации, Пермь, yakutovandrei@bk.ru

ВЫБОР СИСТЕМЫ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ СРЕДНЕГО НАПРЯЖЕНИЯ

DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-4-258-260

В статье рассматриваются системы повышения надежности распределительных сетей среднего напряжения –0,4/6/10 кВ. Произведен мониторинг отказов системы электроснабжения. Для выбранных систем, призванных повысить надежность распределительной сети была произведена оценка их внедрения.

Ключевые слова: *Система повышения надежности распределительной сети, автоматизированная система управления технологическим процессом, многофункциональный контролер, отказ системы электроснабжения.*

В связи с повсеместным увеличением потребления количества электроэнергии и увеличении требований качества к ней все более актуальными становятся вопросы по автоматизации существующих системэлектроснабжения, а также повышения их надежности. В качестве примера можно рассмотреть системуэлектроснабжения объектов РП «Правобережная» ОАО МРСК «Урала» производственного отделения «Березниковских электрических сетей». Существующая система распределения электрической энергииданного комплекса состоит в основном из элементов, не позволяющих осуществлять ее мониторинг, определение места повреждения в сети, оперативный контроль и управление электрооборудованием. Для повышения надежности и эффективности системы электроснабжения требуется внедрение автоматизированной системы управления.

Внедрение такой системы позволит полностью использовать функциональные возможности, предоставляемые устройствами релейной защиты и автоматики, повысить надежность работы оборудования и уменьшить вероятность ошибок персонала удаленно диагностировать и настраивать оборудование, а также решать задачи автоматизированного и автоматического управления оборудованием.

Для качественной оценки надежности существующей системы электроснабжения были взяты данные мониторинга отказов за период с 2012 по 2016 годы. Данные представляют собой поквартальный отчет о количествах возникновения различных видов отказов. Исходные данные, а также результаты расчетов представлены в таблице 1.

Таблица 1- Виды отказов системы электроснабжения.

причины отказов	Вероятность возникновения	Процент от общего
отказ трансформатора	0,0006	2,38
обрыв ВЛ	0,0022	9,52
схлестывание ВЛ	0,0061	26,19
повреждение кабельных линий	0,0033	14,29
пробой изоляторов	0,0049	21,43
отключение на центре питания	0,0006	2,38
выход из строя предохранителей/ выключателей	0,0055	23,81
всего	0,0230	100

Исходя из рассчитанных данных, можно сделать вывод, что максимальное количество отключений электроснабжения происходит по причине схлестывания воздушных линий электропередач и составляет 26,19% от общего числа отказов. Вероятность возникновения таких отказов равна 0,00602. В ходе мониторинга удалось выявить, что среднее время восстановления после отказа – 4,5 часа.

Для оценки надежности существующей системы электроснабжения были рассчитаны следующие показатели: интенсивность отказа системы – λ_c;интенсивность восстановления системы – μ_c;среднее время безотказной работы $T_{ср} = \frac{1}{\lambda_c}$;среднее время восстановления $\tau_{ср} = \frac{1}{\mu_c}$; коэффициент готовности системы $K_Г = \frac{T_{ср}}{T_{ср} + \tau_{ср}}$;

Результаты расчетов представлены в сравнительной таблице 2.

Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод о том, что степень надежности системы находится на низком уровне, поскольку интенсивность восстановления после отказа и коэффициент готовности системы имеют довольно низкие показатели.

Для повышения надежности и эффективности существующей системы есть несколько способов. Наиболее распространенным является внедрение автоматизированной системы управления технологическими процессами (АСУТП). Это комплекс программных и технических средств, предназначенный для автоматизации управления технологическим оборудованием на предприятиях. Функциональная структура АСУТП строится на базе, создаваемой в его составе единой микропроцессорной системы измерений, сбора, обработки, передачи и хранения информации.

Исходя из функционала и технического оснащения АСУТП, система электроснабжения будет иметь более высокие показатели надежности, а обслуживающий персонал позволит оперативно устранять, отказы в системе электроснабжения. Расчеты показателей надежности приведены в сравнительной таблице 2.

Альтернативным вариантом по повышению надежности распределительной сети являетсясистема с использованием в качестве головного устройства многофункционального контроллера, который осуществляет функции сбора информации от модулей связи с объектами, расположенных в ячейках комплектных распределительных устройств, также обеспечивает информационное взаимодействие с устройствами релейной защиты иавтоматики (РЗА), устройствами мониторинга элементов сети. Поддержка широкого набора протоколов обмена информацией в сочетании с разнообразными вариантами модулей контроллера позволяет создавать системы автоматизации на основе уже существующих на объектах устройствах РЗиА и телемеханики.

Результаты расчетов показателей надежности приведены в сравнительной таблице 2.

Исходя из оценки внедрения систем автоматического управления можно сказать, что система электроснабжения, основанная на АСУТП показывает лучшие результаты по устранению причин отказов, связанных с повреждением кабельных и воздушных линий, в сравнении с имеющейся и системой, основанной на многофункциональном контролере. Это обусловлено наличием диспетчерского и оперативного персонала.

Таблица 2 – Результаты расчетов показателей надежности

	Существующая система					АСУ ТП					Система с контрллером				
причины отказов	τср, час	λ, 1/день	μ, 1/день	Тср, дней	КГ	τср, час	λ, 1/день	μ, 1/день	Тср, дней	КГ	τср, час	λ, 1/день	μ, 1/день	Тср, дней	КГ
отказ т	30	0,00	0,03	1818	0,98	30	0,00	0,03	1818	0,98	30	0,00	0,03	1818	0,98
обрыв ВЛ	8	0,00	0,13	457	0,98	3	0,00	0,33	457	0,99	5,5	0,00	0,18	457	0,99
схлестывание ВЛ	4,5	0,01	0,22	166	0,97	2	0,01	0,50	166	0,99	2	0,01	0,50	166	0,99
повреждение КЛ	14	0,00	0,07	304	0,96	7	0,00	0,14	304	0,98	10	0,00	0,10	304	0,97
пробой изоляторов	3	0,00	0,33	203	0,99	2	0,00	0,50	203	0,99	2	0,00	0,50	203	0,99
отключение на ЦП	24	0,00	0,04	1818	0,99	24	0,00	0,04	1818	0,99	24	0,00	0,04	1818	0,99
выход из строя АП/АВ	2,5	0,01	0,40	182	0,99	2	0,01	0,50	182	0,99	2	0,01	0,50	182	0,99

Значительным минусом АСУТП является необходимость больших затрат по внедрению и созданию технического обеспечения. Так же для АСУТП требуется диспетчерский персонал и служба ОВБ. В связи с этим вариант с использованием многофункционального контролера является более приоритетным, так как основывается на уже существующей системе с внесением незначительных изменений в техническое обеспечение, при этом показывая схожие результаты.

Список литературы

1. *Воропай Н.И. и др.* Концепция обеспечения надежности в электроэнергетике. - М.: ООО Изд. «Энергия», 2013.
2. *Чащин Е.А., Волков И.С.* Надежность и безотказность технических систем: учебно-методическое пособие / Ковров: ФГБОУ ВПО «КГТА им. В.А. Дегтярева», 2016. 132 с.
3. *Квитко, А. В*. Генераторы электроэнергии ветроэлектрических установок и способы стабилизации их напряжения / А. В. Квитко, А. О. Хицкова // Научный журнал КубГАУ. 2014. № 98. С. 24–36.
4. *Степанов В.М., Косырихин В.С.* Проектирование систем электроснабжения объектов. Тула: Изд-во ТулГУ, 2015, 2015. 372 с.
5. *Степанов В.М., Косырихин В.С.* Расчёт и проектирование электрических сетей и систем. Тула: Изд-во ТулГУ, 2013. 350 с.
6. *Тханг М.Н., Камаев В.А., Винь Т.К., Щербаков М.В.* Интеллектуальный метод управления энергопотоками в гибридной энергосистеме // Автоматизация & IT в электроэнергетике. 2014. 4 (57).
7. *Васильев, Б.Ю.* Электропривод. Энергетика электропривода: учеб. / Б.Ю. Васильев. – М.: СОЛОН-Пресс, 2015. – 268 с.
8. *Лещинская Т.Б.* Многокритериальная оценка технико-экономического состояния электрических сетей. М.: МИЭЭ, 2015. 120 с.

АННОТАЦИИ
ABSTRACTS

А.Р. Абдуллаев, Э.В. Плехова
КРАЕВАЯ ЗАДАЧА ДЛЯ СИНГУЛЯРНОГО ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО УРАВНЕНИЯ ВТОРОГО ПОРЯДКА

Ключевые слова: сингулярное дифференциальное уравнение, краевая задача, существование и единственность решения.

Рассматривается краевая задача

$$\begin{cases} x''(t)+\frac{m}{t^2}x(t)=f\left(t,x(t),x'(t)\right), \quad t\in[0,T], \\ x(0)=0, x'(0)=0, \\ lx=\int_0^T \varphi(t)x''(t)dt=\alpha. \end{cases}$$

Для $m\in\left(-\infty;-1-\frac{1}{\sqrt{2}}\right)$, *в предположении* $\int_0^1 \varphi(t)t^{\delta}dt\neq 0$, $\delta=-\frac{3}{2}+\frac{1}{2}\sqrt{1-4m}$ *сформулированы достаточные условия на функцию* f, *обеспечивающие существование единственного решения рассматриваемой задачи.*

A.R. Abdullaev, E.V. Plekhov
A BOUNDARY PROBLEM FOR A SINGULAR SECOND-ORDER DIFFERENTIAL EQUATION

Keywords: singular differential equation, boundary problem, existence and uniqueness of solutions.

The following boundary problem is considered:

$$\begin{cases} x''(t)+\frac{m}{t^2}x(t)=f\left(t,x(t),x'(t)\right), \quad t\in[0,T], \\ x(0)=0, x'(0)=0, \\ lx=\int_0^T \varphi(t)x''(t)dt=\alpha. \end{cases}$$

By assuming $\int_0^1 \varphi(t)t^{\delta}dt\neq 0$, $\delta=-\frac{3}{2}+\frac{1}{2}\sqrt{1-4m}$ *for* $m\in\left(-\infty;-1-\frac{1}{\sqrt{2}}\right)$, *the sufficient conditions on the function,* f *, for the existence of the unique solution of the problem in question are stated.*

Е.С. Бахвалова, А.А. Добрянская, Г.Н. Демиденко, А.В. Быков
МЕТАЛЛОСОДЕРЖАЩИЕ ПОЛИМЕРСТАБИЛИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ В ЖИДКОФАЗНОМ ГИДРИРОВАНИИ АРЕНОВ

Ключевые слова: жидкофазное гидрирование, полимерстабилизированный катализатор, бензол, анилин.

В статье рассмотрены результаты каталитического тестирования в жидкофазном гидрировании бензола и анилина систем Pt/MN100, Pd/MN100, Ru/MN100, а также представлены результаты физико-химических исследований этих систем.

E.S. Bakhvalova, A.A. Dobryanskaya, G.N. Demidenko, A.V. Bykov
METAL-CONTAINING POLYMER-STABILIZED SYSTEMS IN LIQUID-PHASE HYDROGENATION OF ARENES

Keywords: liquid-phase hydrogenation, polymer-stabilized hydrogenation, benzene, aniline.

The results of catalytic testing of Pt/MN100, Pd/MN100, Ru/MN100 in liquid-phase hydrogenation of benzene and aniline are discussed. The results of physicochemical investigation of these catalysts are also presented.

М.Е. Григорьев, В.Г. Матвеева, Е.В. Антонов, А.Ю. Гребенюк
КИНЕТИКА КАТАЛИТИЧЕСКОГО ГИДРИРОВАНИЯ D-КСИЛОЗЫ ДО D-КСИЛИТА

Ключевые слова: катализатор, гидрирование, D-ксилоза, D-ксилит.

В данной работе представлены результаты кинетического исследования процесса каталитического гидрирования D-ксилозы до D-ксилита. Изучено влияние температуры, парциального давления водорода и концентрации субстрата на конверсию D-ксилозы и селективность процесса гидрирования. В качестве каталитической системы был использован рутениевый катализатор Ru/СПС MN 100.

M.E. Grigoriev, V.G. Matveeva, E.V. Antonov, A.Y. Grebenyuk
D-XYLOSE TO D-XYLITOLCATALYTIC HYDROGENATIONKINETICS

Keywords: catalyst, hydrogenation, D-xylose, D-xylitol.

This paper presents the results of the D-xylose to D-xylitol catalytic hydrogenation kinetic studies. The effect of temperature, hydrogen partial pressure and substrate concentration on the conversion of D-xylose and selectivity of the hydrogenation process were investigated using Ru/ HPS MN 100 catalyst.

Г.Н. Демиденко, Л.Ж. Никошвили, А.В. Быков
СТАБИЛЬНОСТЬ ПОЛИМЕРСТАБИЛИЗИРОВАННОЙ РУТЕНИЙ СОДЕРЖАЩЕЙ КАТАЛИТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ЖИДКОФАЗНОГО СИНТЕЗА N-МЕТИЛАНИЛИНА

Ключевые слова: восстановительное N-алкилирование, полимерстабилизированный катализатор, рутений, стабильность в повторных циклах.

В статье рассмотрены стабильность рутениевой полимерстабилизированной каталитической системы в повторных реакционных циклах восстановительного N-алкилирования анилина формальденидом в присутствии водорода и результаты исследований методами ИК-спектроскопии, рентгенофотоэлектронной спектроскопии, термогравиметрии.

G.N. Demidenko, L.Zh. Nikosvili, A.V. Bykov
STABILITY OF THE POLYMER-STABILIZED RUTHENIUM-CONTAINING CATALYTIC SYSTEM FOR THE LIQUID-PHASE SYNTHESIS OF N-METHYLANILINE

Keywords: reductive N-alkylation, polymer-stabilized catalyst, ruthenium, stability in repeated cycles.

The stability of polymer-stabilized ruthenium-containing catalytic system at multiple reuses was studied in the reaction of reductive N-alkylation of aniline with formaldehyde in the presence of hydrogen. The results of the catalyst investigation by the methods of IR-spectroscopy, X-ray photoelectron spectroscopy, thermogravimetry are presented.

М.Е. Маркова, А.А. Степачёва, А.В. Гавриленко, М.Г. Сульман, Э.М. Сульман
СИНТЕЗ ФИШЕРА-ТРОПША В ПРИСУТСТВИИ КАТАЛИЗАТОРОВ, СИНТЕЗИРОВАННЫХ В СУБКРИТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Ключевые слова: синтез Фишера-Тропша, кобальт, никель, субкритические условия.

В данной работе приводятся результаты тестирования кобальт- и никельсодержащих катализаторов на основе оксидов кремния и алюминия, синтезированных в среде субкритической воды и субкритического пропанола-2, в процессе жидкофазного синтеза

M.E. Markova, A.A. Stepacheva, A.V. Gavrilenko, M.G. Sulman, E.M. Sulman
FISCHER-TROPSCH SYNTHESIS IN THE PRESENCE OF THE CATALYSTS SYNTHESIZED IN SUBCRITICAL CONDITIONS

Keywords: Fischer-Tropsch synthesis, cobalt, nickel, subcritical conditions.

In the current work, the results of the testing of Co- and Ni-containing catalysts on the base of silica and alumina in the liquid-phase Fischer-Tropsch synthesis are described. The catalysts were synthesized in subcritical water and

Фишера-Тропша (СФТ). Было показано, что кобальтовые катализаторы, нанесенные на оксид кремния обладают наибольшей селективностью к образованию углеводородов бензинового ряда.

subcritical propanol-2. It was shown that Co-containing catalysts based on silica have higher selectivity towards the formation of gasoline range hydrocarbons.

В.П. Молчанов, В.Ю. Долуда, М.Е. Григорьев, Э.М. Сульман, Г.Ю. Рабинович

ИССЛЕДОВАНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ВЫХОД САХАРОВ В ПРОДУКТАХ БИОКОНВЕРСИИ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ И ОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ

Ключевые слова: биоконверсия, растительное сырье, органические отходы, физико-химический анализ, сахара, удобрения.

Исследован процесс биоконверсии отходов животноводства и трудногидролизуемого растительного сырья (торфа) с последующей ультразвуковой обработкой ферментируемой смеси. Проведены физико-химические исследования и выявлена возможность целевого биосинтеза продуктов с высоким содержанием сахаров с целью получения эффективных удобрений с заранее заданными свойствами.

V.P. Molchanov, V.Yu. Doluda, M.E. Grigoriev, E.M. Sulman, G.Yu. Rabinovich

STUDY OF ULTRASONIC TREATMENT ON THE YIELD OF SUGARS IN THE PRODUCTS OF BIOCONVERSION OF VEGETATIVE RAW MATERIALS AND ORGANIC WASTE

Keywords: bioconversion, plant material, organic waste, physico-chemical analysis, sugar, fertilizers.

At the work was studied the process of bioconversion of animal waste and plant material (peat) with subsequent ultrasonic treatment fermentable mixture. Conducted physico-chemical studies and studied the possibility of biosynthesis target products with a high content of sugars with the aim of obtaining efficient fertilizer with predetermined properties.

В.П. Молчанов, Н.В. Фомичева, Е.А. Прутенскаяк, Э.М. Сульман, Г.Ю. Рабинович

АНАЛИЗ КИНЕТИКИ БИОКАТАЛИТИЧЕСКОГО СИНТЕЗА АМИНОКИСЛОТ В ПРОЦЕССЕ БИОКОНВЕРСИИ ПРИРОДНОГО ОРГАНИЧЕСКОГО СЫРЬЯ

Ключевые слова: формально-кинетический анализ, оптимизация биокаталитического синтеза, синтез свободных аминокислот, биоконвенсия.

В данной статье рассмотрены формально-кинетический анализ и оптимизация биокаталитического синтеза свободных аминокислот в процессе биоконверсии органического сырья.

V.P. Molchanov, N.V. Fomicheva, E.A. Prutenskaya, E.M. Sulman, G.Yu. Rabinovich

KINETIC ANALYSIS OF AMINO ACIDS BIOCATALYTIC SYNTHESIS IN THE COURSE OF BIOCONVERSION OF ORGANIC RAW MATERIALS

Keywords: formal kinetic analysis, optimization of biocatalytic synthesis, synthesis of free amino acids, bioconversion.

In this article the formal kinetic analysis and optimization of biocatalytic synthesis of free amino acids in the course of bioconversion of organic raw materials are considered.

Н.А. Немыгина, Е.В. Семенова, Л.Ж. Никошвили, М.Г. Сульман, Э.М. Сульман, L. Kiwi-Minsker

РЕАКЦИЯ КРОСС-СОЧЕТАНИЯ СУЗУКИ В ПРИСУТСТВИИ МОНО- И БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ Pd- И Au-СОДЕРЖАЩИХ КАТАЛИЗАТОРОВ НА ОСНОВЕ СВЕРХСШИТОГО ПОЛИСТИРОЛА

Ключевые слова: катализ, кросс-сочетание Сузуки, палладий, золото, сверхсшитый полистирол.

В данной работе приводятся результаты тестирования палладий- и золото-содержащих катализаторов на основе сверхсшитого полистирола в реакции кросс-сочетания 4-броманизола и фенилбороновой кислоты в присутствии NaOH в качестве основания. Показано, что монометаллические палладиевые катализаторы, а также биметаллические катализаторы обладают высокой активностью (за 4 часа реакции достигнута конверсия 4-броманизола более 98%) и селективностью. Кроме того, в биметаллических катализаторах наблюдался синергетический эффект от присутствия золота и палладия.

N.A. Nemygina, E.V. Semenova, L.Zh. Nikoshvili, M.G. Sulman, E.M. Sulman, L. Kiwi-Minsker

SUZUKI CROSS-COUPLING REACTION IN THE PRESENCE OF MONO- AND BIMETALLIC Pd- AND Au-CONTAINING CATALYSTS BASED ON HYPERCROSSLINKED POLYSTYRENE

Keywords: catalysis, Suzuki cross-coupling, palladium, gold, hypercrosslinked polystyrene

In this paper, the results of testing of palladium- and gold-containing catalysts based on hypercrosslinked polystyrene in the reaction of cross-coupling of 4-bromoanisole and phenylboronic acid in the presence of NaOH as a base are presented. Monometallic palladium catalysts, as well as bimetallic catalysts, were shown to have high activity (conversion of 4-bromoanisole was more than 98% for 4 hours of reaction) and selectivity. Moreover, in bimetallic catalysts the synergy effect was observed between gold and palladium.

Е.В. Пашкова, А.Н. Шипуля, Е.В. Волосова, Е.В. Белик, К.С. Эльбекьян

ПЕРСПЕКТИВЫ ПОЛУЧЕНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОРБЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ОРГАНОКРЕМНЕЗЕМНОЙ ПРИРОДЫ В БИОТЕХНОЛОГИИ

Ключевые слова: сорбционные материалы, молочная сыворотка, биопрепараты, озимая пшеница.

В работе представлены результаты исследования получения сорбционных материалов, обладающих заданным составом и направленностью действия, а также возможности их практического применения для удаления белка из молочной сыворотки при создании технологии новых биопрепаратов.

E.V. Pashkova, E.V. Volosova, A.N. Shipulya, E.V. Belik, K.S. Elbekyan

PROSPECTS OF RECEIVING AND USING SORPTION MATERIALS OF ORGANO-CRUISE NATURE IN BIOTECHNOLOGY

Keywords: sorption materials, whey, biopreparation, winter wheat.

The paper presents the results of the study of the preparation of sorption materials possessing the specified composition and direction of action, as well as the possibilities of their practical application for the removal of protein from whey when creating the technology of new biopreparations.

А.А. Савченко

КОНЦЕНТРАЦИЯ НАПРЯЖЕНИЙ В ВЯЗКОУПРУГОЙ ПОЛИМЕРНОЙ ПЛАСТИНКЕ С ОТВЕРСТИЕМ

Ключевые слова: полимерная пластинка, вязкоупругость, концентрация напряжений.

Приведена методика расчета концентрации напряжений при помощи

A.A. Savchenko

STRESS CONCENTRATION IN A VISCOELASTIC POLYMER PLATE WITH HOLE

Keywords: polymeric plate, viscoelasticity, stress concentration.

A technique for calculating the stress concentration using

метода конечных элементов с учетом вязкоупругих свойств материала. Рассмотрена задача растяжения полосы с отверстием из полиметилметакрилата. Установлено, что в конце процесса ползучести происходит возврат к упругому решению.

the finite element method is given, taking into account the viscoelastic properties of the material. The problem of stretching a strip with a hole made of polymethylmethacrylate is considered. It is established that at the end of the creep process a return to the elastic solution occurs.

Аббаварам Ревант Редди, В.Г. Нестеренко
ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТРУБЧАТЫХ ВОЗДУХО - ВОЗДУШНЫХ ТЕПЛООБМЕННИКОВ, УСТАНАВЛИВАЕМЫХ В СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ И ПЕРСПЕКТИВНЫХ ТУРБИН ГТД

Ключевые слова: охлаждаемые лопатки турбин, кольцевые турбулизаторы, интенсивность охлаждения, коэффициент теплопередачи, эффективность системы воздушного охлаждения.

Рассмотрены результаты исследований трубчатых воздухо-воздушных теплообменников (ВВТ), применяемых в системах охлаждения турбин современных и перспективных авиационных газотурбинных двигателей (ГТД), установленных в его наружном контуре. Представлены рекомендации по повышению их эффективности.

Abbavaram Revanth Reddy, V.G. Nesterenko
BASIC DESIGN PRINCIPLES AND METHODS TO INCREASE EFFICIENCY OF TUBULAR AIR - THE AIR HEAT EXCHANGERS INSTALLED IN THE COOLING SYSTEMS OF MODERN AND FUTURE TURBINES OF GAS TURBINE ENGINES

Keywords: turbine blade cooling, circular turbulizer, intensity of cooling, heat transfer coefficient, effectiveness of air cooling.

Results of research conducted on tubular air-air heat exchangers used in cooling systems of turbines of the modern and future aviation gas-turbine engines (GTD), which are installed in the air bypass section are considered. Recommendations of methods to increase their efficiency are submitted.

Н.Д. Ахметов, В.Н. Друлис, Т.В. Рзаева, А.Г. Коробова, Л.Н. Валиахметова
РОЛЬ НАЧЕРТАТЕЛЬНОЙ ГЕОМЕТРИИ В ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПОДГОТОВКЕ СПЕЦИАЛИСТА

Ключевые слова: подготовка специалистов, гуманитаризация технического образования, начертательная геометрия.

Рассматриваются вопросы профессиональной подготовки специалистов, в частности, место и роль начертательной геометрии при подготовке современного инженера как интеллектуальная, гуманитарная составляющая профессионального образования.

N.D. Akhmetov, V.N. Drulis, T.V. Rzayeva, A.G. Korobova L.N. Valiakhmetova
THE ROLE OF DESCRIPTIVE GEOMETRY TRAINING SPECIALIST

Keywords: training, humanization of technical education, descriptive geometry.

Issues of professional training of specialists, in particular, the place and role of descriptive geometry in the training of a modern engineer as an intellectual, and a humanitarian component of vocational education.

Ле Тиен Зыонг, В.Г. Нестеренко
МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОФИЛЬНОЙ ЧАСТИ БАНДАЖИРОВАННЫХ ЛОПАТОК РОТОРА ТУРБИНЫ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ ГТД

Ключевые слова: охлаждаемые лопатки турбин, плёночное охлаждение, прочность, ресурс работы, эффективность системы воздушного охлаждения.

Представлена методика проектирования и особенности конструкции профильной части охлаждаемых лопаток ротора турбины высокого давления с бандажными полками, устанавливаемыми в современных и перспективных ГТД наземного и авиационного назначения с целью повышения их экономичности, надёжности и ресурса.

Le Tien Duong, V.G. Nesterenko
DESIGN METHODOLOGY OF THE PROFILED PART OF THE SHROUDED BLADES OF THE HIGH-PRESSURE TURBINE ROTOR OF A GAS TURBINE ENGINE

Keywords: turbine cooled blade, film cooling, strength, operational life, effectiveness of air cooling system.

Presented are the design methodology and design features of the profiled part of the cooled high-pressure turbine rotor blades with shrouds, which are installed on state of the art and advanced ground-based and aviation purposed gas turbine engines with the aim of increasing their cost effectiveness, reliability and operating life.

Н.Г. Фетисова, А.П. Буйносов
ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛ ЛИНЕЙНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ПОЕЗДА

Ключевые слова: поезд, высокоскоростной, двигатель, линейный, контур, сила, время, зависимость, уравнения, результаты.

В статье выведены уравнения и приведены результаты определения сил, действующих на контуры в зависимости от времени линейного асинхронного двигателя при движении высокоскоростного поезда.

N.G. Fetisova, A.P. Buinosov
DETERMINATION OF FORCES OF THE LINEAR ASYNCHRONOUS ENGINE OF THE HIGH-SPEED TRAIN

Keywords: train, high-speed, engine, linear, contour, force, time, dependence, equations, results.

In article the equations are removed and results definitions of forces operating on contours depending on time of the linear asynchronous engine at the movement of the high-speed train are given.

И.Н. Фролова, И.О. Пантелеев, С.К. Сахаровский, А.А. Сарбаев
К ВОПРОСУ АВТОМАТИЗАЦИИ ВЫБОРА УГЛОВ В ПЛАНЕ РЕЖУЩЕГО КЛИНА В БАЗЕ ДАННЫХ СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХПРОЦЕССОВ

Ключевые слова: база данных, САПР ТП, режущий клин, угол в плане, общие связи, множества.

В работе изложен принцип образования общих связей, автоматически формируемых в базе данных САПР ТП между державкой и сменной многогранной пластиной. Описано преобразование угла в плане режущего клина в углы положения

I.N. Frolova, I.O. Panteleev, S.K. Sakharovsky, A.A. Sarbaev
TO THE PROBLEM OF AUTOMATING THE CHOICE OF ANGLES IN TERMS OF A CUTTING WEDGE IN THE DATABASE OF COMPUTER-AIDED DESIGN SYSTEMS FOR TECHNICAL PROCESSES

Keywords: database, CAD TP, cutting wedge, angle in plan, general relationships, sets.

The work outlines the principle of the formation of common relationships that are automatically generated in the CAD database of the TP between the holder and a replaceable

главной и вспомогательной режущих кромок относительно оси вращения шпинделя, представлены результаты вариантов расчетов.

polyhedral plate. The transformation of the angle in the plan of the cutting wedge into the angles of the position of the main and minor cutting edges relative to the axis of rotation of the spindle is described, the results of the calculation options are presented.

А.В. Галин, О.Г. Морозов, П.В. Гаврилов,
А.Ж. Сахабутдинов, И.А. Макаров, А.А. Тяжелова
ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЕ И ТЕРАГЕРЦОВЫЕ БРЭГГОВСКИЕ РЕШЕТКИ ДЛЯ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА БУМАГИ

Ключевые слова: волоконно-оптический кабель, ИК-диапазон, кабель из полистирола с малыми потерями, терагерцовый диапазон, брэгговская решетка, амплитудно-фазовый метод формирования двухчастотного зондирующего излучения

Показаны варианты решения задачи определения качества бумаги в процессе производства с помощью рефрактометрических измерений. Влажность бумаги – один из важных факторов, определяющий ее размер, свойства и качество применения как конечного продукта. При контакте с волоконно-оптическим рефрактометром на базе брэгговской решетки свет проникает в поверхность бумаги, условия его распространения по волокну изменяются в зависимости от показателя преломления бумаги, который, в свою очередь, изменяется от влажности. Предложена структура перспективного терагерцового рефрактометра на базе брэгговской решетки, способного измерять кроме влажности и толщину бумаги: спектральная чувствительность такого датчика к изменениям толщины бумаги может достигать 0,1 ГГц/мкм, минимальное измеряемое изменение толщины бумаги составит ~ 20 мкм при разрешении временных спектрометров в 1,5 ГГц. При использовании двухчастотного непрерывного зондирования последний параметр достигает единиц Гц, а минимальная измеряемая толщина долей мкм.

A.V. Galin, O.G. Morozov, P.V. Gavrilov,
A.J. Sakhabutdinov, I.A. Makarov, A.A. Tyazhelova
FIBER-OPTICAL AND TERAHERTZ BRAGG GRATINGS FOR PAPER QUALITY CONTROL SYSTEMS

Keywords: fiber optic cable, IR range, low-loss polystyrene cable, terahertz range, Bragg grating, amplitude-phase method for the formation of two-frequency probing radiation.

The variants of solving the problem of determining the quality of paper in the production process using refract metric measurements are shown. Humidity of paper is one of the important factors determining its size, properties and quality of application as an end product. Upon contact with a fiber-optic refractometer based on a Bragg grating, light penetrates into the surface of the paper, the conditions for its propagation through the fiber vary depending on the refractive index of the paper, which in turn varies from humidity. The structure of a perspective terahertz refractometer based on a Bragg grating is available that can measure in addition to humidity and paper thickness: the spectral sensitivity of such a sensor to changes in paper thickness can reach 0.1 GHz / μm, the minimum measured change in paper thickness is ~ 20 μm with the resolution of time spectrometers of 1,5 GHz. With the use of two-frequency continuous probing, the last parameter reaches units of Hz, and the minimum measured thickness of parts of μm.

В.О. Ефимов, А.Н. Пикулев, Н.В. Дорогов, А.А. Тяжелова,
Л.М. Сарварова, В.Ю. Колесников, А.М. Николаев, П.М. Николаев,
Ю.М. Николаев
МЕТОДЫ КОМПЕНСАЦИИ ВЛИЯНИЯ АТМОСФЕРНОЙ ТУРБУЛЕНТНОСТИ НА ТОЧНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ УГЛОВЫХ КООРДИНАТ В ЛАЗЕРНЫХ ЛОКАТОРАХ СЛЕЖЕНИЯ

Ключевые слова: лазерный локатор слежения, угловые координаты, турбулентность атмосферы, методы компенсации.

Лазерным локаторам слежения присущи определенные недостатки, среди которых сильное влияние атмосферы на их энергетические и точностные параметры, процесс наведения узкого луча на объект и др. Высокие требования к локаторам (погрешность измерения угловых координат до единиц угловых секунд) приводят к необходимости учета состояния атмосферы на трассе для внесения поправок в измерения. В частности, к существенному ослаблению сигнала приводит явление турбулентности атмосферы. Для снижения ошибки угловых измерений целесообразно использование методов компенсации влияния турбулентности атмосферы. Наиболее перспективным методом может быть использование оптических устройств, формирующих эффективную апертуру с равномерным распределением интенсивности лазерного излучения по сечению луча, падающего на фотоприемник.

V.O. Efimov, A.N. Pikulev, N.V. Dorogov,
A.A. Tyazhelova, L.M. Sarvarova, V.Yu. Kolesnikov,
A.M. Nikolaev, P.M. Nikolaev, Yu.M. Nikolaev
METHODS OF ATMOSPHERE TURBULENCE INFLUENCE COMPENSATION ON THE ACCURACY OF ANGULAR COORDINATES MEASURING FOR TRACKING LADAR

Keywords: tracking ladar, angular coordinates, atmospheric turbulence, compensation methods.

Laser tracking locators have certain drawbacks, among which the strong influence of the atmosphere on their energy and precision parameters, the process of pointing a narrow beam at the object. High requirements for locators (the error in measuring angular coordinates to units of angular seconds) lead to the need to take into account the state of the atmosphere on the track for making corrections to the measurements. In particular, the phenomenon of atmospheric turbulence leads to a significant weakening of the signal. To reduce the error of angular measurements, it is advisable to use methods to compensate for the effect of atmospheric turbulence. The most promising method can be the use of optical devices that form an effective aperture with a uniform distribution of the intensity of laser radiation along the cross-section of the beam incident on the photodetector.

К.А. Кузьмин, И.В. Нелин, В.А Скуратов
МЕХАНИЗМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ФИЛЬТРАЦИИ РАДИОСИГНАЛОВ

Ключевые слова: фильтр, нейронные сети, архитектура сети.

В статье рассмотрен подход к проектированию адаптивного фильтра радиосигналов посредством нейросетевых технологий, представлены результаты исследования, оптимизации и практического применения нейронных сетей для отсева случайных помех.

K.A. Kuzmin, I.V. Nelin, V.A Skyratov
MECHANISMS USING NEURAL NETWORK TECHNOLOGY FOR FILTERING RADIO SIGNALS

Keywords: filter, neural networks, network architecture.

This article describes an approach to the design of the adaptive filter by means of neural network technology for filtering radio signals. This research paper presents the results of experimental research settings and the practical application of the adaptive filter for elimination of unknown radio interference.

А.Р. Латфуллин, Р.Ш. Яруллов, Н.В. Жиляков, Э.Ф. Хазиев, Д.В. Самигуллин

РЕГИСТРАЦИЯ КАЛЬЦИЕВОГО ТРАНЗИЕНТА В ПЕРИФЕРИЧЕСКИХ СИНАПСАХ МЫШИ, ЗАГРУЖЕННЫХ ВЫСОКО- И НИЗКОАФФИННЫМИ КАЛЬЦИЕВЫМИ КРАСИТЕЛЯМИ, ПРИ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ СТИМУЛЯЦИИ ДВИГАТЕЛЬНОГО НЕРВА

Ключевые слова: кальций, нервно-мышечное соединение, флуоресцентные красители, высокочастотная стимуляция, Ca^{2+}.

В данной работе представлены результаты оценки входа кальция в периферические нервные окончания теплокровных животных при высокочастотной стимуляции двигательного нерва. Исследование выполнено с применением двух флуоресцентных кальциевых красителей с разной аффинностью к кальцию.

A.R. Latfullin, R.Sh. Yarullov, N.V.Zhilyakov, E.F. Khaziev, D.V. Samigullin

REGISTRATION OF CALCIUM TRANSIENT IN PERIPHERAL SYNAPSES OF MICE LOADED WITH HIGH- AND LOW-AFFINITY CALCIUM DYES WITH HIGH-FREQUENCY STIMULATION OF THE MOTOR NERVE

Keywords: Calcium, neuromuscular junction, fluorescent dyes, frequency stimulation, Ca^{2+}

In this paper, we present the results of assessing calcium intake in the peripheral nerve endings of warm-blooded animals during high-frequency stimulation of the motor nerve. The study was performed using two fluorescent calcium dyes with different affinities to calcium.

Е.В. Субботин, С.В. Ершов, А.Д. Слободчиков

РЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ТЕРМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МИНЕРАЛЬНО-СИНТЕТИЧЕСКИХ МАСЕЛ

Ключевые слова: минерально-синтетические масла, экспериментальные исследования, термогравиметрический анализ, реология.

В работе проведены экспериментальные исследования реологических характеристик и термический анализ различных видов минерально-синтетических масел. Для указанных материалов изучен процесс изменения массы при равномерном нагреве, получены температурные зависимости динамической вязкости в интервале от минус 45°С до 150°С. Выполнен сравнительный анализ экспериментальных данных.

E.V. Subbotin, S.V. Ershov, A.D. Slobodchikov

RHEOLOGICAL RESEARCH AND THERMAL ANALYSIS OF MINERAL-SYNTHETIC OILS

Keywords: mineral-synthetic oils, experimental studies, thermogravimetric analysis, rheology.

Experimental studies of rheological characteristics and thermal analysis of various types of mineral-synthetic oils have been carried out in the work. For these materials, the process of changing the mass under uniform heating was studied, the temperature dependences of the dynamic viscosity in the range from minus 45°C to 150°C were obtained. Comparative analysis of the experimental data is performed.

Е.В. Субботин, С.В. Ершов, Д.И. Широков

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ГИДРОФОБНЫХ ГЕЛЕЙ С ПОЛИМЕРНЫМИ ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННЫМИ МАТЕРИАЛАМИ

Ключевые слова: оптический кабель, полимер, гидрофобный гель, термогравиметрический анализ.

В работе с помощью метода термогравиметрического анализа выполнены экспериментальные исследования процесса проникновения различных гидрофобных гелей в полимерные электроизоляционные материалы, применяющиеся в кабельной промышленности. Сделаны выводы о совместимости и практическом использовании сочетаний исследуемых материалов при производстве современных оптических кабелей.

E.V. Subbotin, S.V. Ershov, D.I. Shirokov

EXPERIMENTAL STUDIES OF THE INTERACTION PROCESSES OF HYDROPHOBIC GELS WITH POLYMERIC ELECTRICAL-INSULATING MATERIALS

Keywords: optical cable, polymer, hydrophobic gel, thermogravimetric analysis

In work using the method of thermogravimetric analysis, experimental studies of penetration of various hydrophobic gels into polymeric electrical-insulating materials used in the cable industry were carried out. Conclusions about the compatibility and practical use of combinations of investigation materials in the production of modern optical cables were made.

А.Е. Терлыч, А.С. Поздеева

ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ТОКОПРОВОДЯЩИХ ЖИЛ КАБЕЛЕЙ НЕПОСРЕДСРЕДСТВЕННО НА ЛИНИИ ПРОИЗВОДСТВА

Ключевые слова: токопроводящая жила, сопротивление, измерение.

Рассмотрены особенности измерения сопротивления токопроводящих жил кабелей непосредственно на линии производства. Исследованы недостатки существующих методов и предложен новый способ измерения сопротивления токопроводящих жил, обладающий рядом преимуществ.

A.E. Terlych, A.S. Pozdeeva

METHOD FOR MEASURING THE RESISTANCE OF CONDUCTORS CABLES DIRECTLY ON THE PRODUCTION LINE

Keywords: conductors of cables, resistance, measuring.

The features of measuring the resistance of conductors of cables directly on the production line are considered. The shortcomings of existing methods are investigated and a new method for measuring the resistance of conductors is proposed.

И.А. Акимов, В.Н. Абузяров

НЕСТАЦИОНАРНАЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ В СЛОЯХ С НЕИДЕАЛЬНЫМ КОНТАКТОМ

Ключевые слова: сложный композиционный материал, нестационарная линейная теплопроводность, цилиндрическая поверхность, ограждающие конструкции, система интегральных уравнений.

В работе представлена задача нестационарной линейной теплопроводности через n – слойную цилиндрическую поверхность. Рассмотрен путь преобразования нелинейной задачи в систему линейных краевых задач.

I.A. Akimov, V.N. Abuzyarov

THE NONSTATIONARY HEAT CONDUCTIVITY IN THE LAYERS WITH IMPERFECT CONTACT

Keywords: composite material, non-stationary linear conductivity, the cylindrical surface of the enclosing structure, the system of integral equations.

The paper presents the problem of unsteady-state linear heat conduction through the n – layer cylindrical surface. Considered a way of converting a nonlinear problem into system of linear boundary value problems.

Н.В. Андриевская, Н.В. Павлов

АНАЛИЗ ВЗАИМНОГО ВЛИЯНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Ключевые слова: показатели качества электроэнергии, линейный

N.V. Andrievskaya, N.V. Pavlov

ANALYSIS OF POWER QUALITY INDICATORS

Keywords: power quality indicators, linear regression analysis, coefficient of multiple correlation, Fisher's test,

регрессионный анализ, коэффициент множественной корреляции, критерий Фишера, адекватность моделей.

Сформулированы проблемы качества электрической энергии, Выделены основные показатели качества электроэнергии. Разработан алгоритм исследования взаимного влияния показателей качества электроэнергии на основе линейного регрессионного анализа. Приведены результаты исследований.

verify model.

The problem of quality of electrical power is formulated. Main power quality indicators is described. Algorithm of analysis of power quality indicators on the linear regression analysis is proposed. The results of modeling are described

А.А. Бачурин, Н.В. Павлов, А.В. Папулов

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ МОЩНОСТЬЮ НАРУЖНЫХ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВЕЛИЧИНЫ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКА

Ключевые слова: система управления, наружное освещение, энергетическая эффективность, качество освещения.

Целью изобретения является оптимизация расхода электроэнергии за счет уменьшения её потребления в моменты значительного снижения интенсивности движения на объектах, требующих освещения.

A.A. Bachurin, N.V. Pavlov, A.V. Papulov

OUTDOOR LIGHTING CONTROL SYSTEM USING THE TRAFFIC FLOW VALUE

Keywords: control system, outdoor lighting, energy efficiency, quality lighting

This article describes various automatic light control systems. Disadvantages of existing systems are the increased power consumption due to the lack of the luminous flux flexible regulation depending on the traffic on the objects requiring illumination. The aim of invention is to optimize the power consumption by reducing its consumption in moments of significant traffic reduction.

Ф.Н. Баянов, Д.А. Даденков, О.П. Суханов

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ НАПОРНОГО ЯЩИКА УЧЕБНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Ключевые слова: система управления, контур регулирования, напорный ящик, имитационная модель, идентификация.

В представленной работе рассматривается разработка системы автоматического управления напорного ящика учебно-экспериментальной установки целлюлозно-бумажного производства. Ставится задача, используя математическую модель напорного ящика, выполнить синтез системы управления и провести ее исследование на основе разработанной имитационной модели.

D.A. Dadenkov, F.N. Bayanov, O.P. Cuhanov

DEVELOPMENT AND RESEARCH OF THE AUTOMATED CONTROL SYSTEM OF THE PRESSURE BOX OF EDUCATIONAL EXPERIMENTAL EQUIPMENT OF PULP AND PAPER INDUSTRY

Keywords: control system, control loop, pressure head box, simulation modeling, identification.

In this work development of the automated control system of pressure box on the basis of educational and experimental equipment of pulp-and-paper industry is considered. The task choose a regulation contour, to develop mathematical model of a pressure box, to simulate the received model is set. The task of control system synthesis using mathematical model of the pressure box and the mathematical model research based on developed simulation model is given.

С.В. Бочкарев, М.И. Мотырев

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ РАЗРАБОТКИ РУКОВОДСТВА ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ В ИНТЕГРИРОВАННОЙ СРЕДЕ TEAMCENTER & CORTONA3D RAPIDAUTHORS

Ключевые слова: руководство по эксплуатации, модуль данных, рабочая конструкторская документация, Teamcenter , Cortona3D RapidAuthorS.

В данной статье рассмотрены основные проблемы разработки руководств по

обслуживанию авиационных двигателей на примере конструкторского бюро ОАО «Авиадвигатель», определены основные цели внедрения методологии ИПИ-технологий. Построена и проанализирована модель исследуемого процесса «как должно быть».

S.V. Bochkarev, M.I. Motyrev

AUTOMATED CONTROL SYSTEM OF LIFE CYCLE OF OPERATING INSTRUCTION DEVELOPMENT IN THE INTEGRATED INFORMATION ENVIRONMENT TEAMCENTER & CORTONA3D RAPIDAUTHORS

Keywords: manual, data module, design documentation, Teamcenter, Cortona3D RapidAuthorS.

On the example of leading Russian design bureau - Developer engines for civil and military aircraft and industrial gas turbines and power plants based on aeronautical technology of "Aircraft Engine" describes the main shortcomings of the current system to develop guidelines for the care, the basic purpose of implementation of the methodology. Built and analyzed a model of the test process "as it should be."

А.П. Буйносов

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФОРМЫ ПОВЕРХНОСТИ КАТАНИЯ БАНДАЖЕЙ НА КОЭФФИЦИЕНТ СЦЕПЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОВОЗА

Ключевые слова: электровоз, колесная пара, бандаж, поверхность, профиль, рельс, коэффициент сцепления, теория, обоснование.

В статье приводятся теоретическое обоснование влияния конфигурации профиля поверхности катания бандажей на коэффициент сцепления колесных пар электровоза и рельсов.

A.P. Buinosov

THEORETICAL JUSTIFICATION OF INFLUENCE OF THE FORM OF THE SURFACE OF DRIVING OF BANDAGES ON COEFFICIENT OF COUPLING OF THE ELECTRIC LOCOMOTIVE

Keywords: electric locomotive, wheel pair, bandage, surface, profile, rail, coupling coefficient, theory, justification.

The theoretical justification of influence of a configuration of a surface profile of driving of bandages on coefficient of coupling of wheel pairs of an electric locomotive and rails is given in article.

Н.И. Войтехов, А.Н. Лыков

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ ДАВЛЕНИЯ НА ПЕРВОЙ СТУПЕНИ ТУРБОКОМПРЕССОРА ПРОПАНОВОЙ ХОЛОДИЛЬНОЙ

N.I. Voitekhov, A.N. Lykov

AUTOMATED CONTROL SYSTEM OF REGULATION OF PRESSURE AT THE FIRST STEP OF THE TURBOCOMPRESSOR OF THE PROPANE

УСТАНОВКИ

Ключевые слова: автоматизация, система, помпаж, контур регулирования, турбокомпрессор, моделирование, клапан, оптимизация, схема, настройка.

В данной статье рассматривается автоматизированная система управления контура поддержания давления на первой ступени турбокомпрессора пропановой холодильной установки Южно-Балыкского ГБЗ при помощи антипомпажного регулирующего клапана.

REFRIGERATION UNIT

Keywords: *automation, system, surge, contour loop, turbokompressor, modelling, valve, optimization, scheme, setting.*

In this article examined, the automated control system of a contour of maintenance of pressure at the first step of a turbocompressor of the propane refrigeration unit of Southern-Balyksky GBZ by means of the antipompazhny adjusting valve is considered.

Н.И. Войтехов, Д.А. Чернышев, А.Н. Лыков

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СТРУКТУРНЫХ ПАРАМЕТРОВ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ И КОЛИЧЕСТВА ОБУЧАЮЩЕЙ ВЫБОРКИ НА ВЕЛИЧИНУ СРЕДНЕКВАДРАТИЧЕСКОЙ ОШИБКИ ПОЛУЧЕННОГО РЕЗУЛЬТАТА. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДБОРУ ПАРАМЕТРОВ И ОБУЧЕНИЮ СЕТИ

Ключевые слова: искусственная нейронная сеть, обучающая выборка, модель динамического объекта, запаздывание ИНС, среднеквадратическая ошибка.

В данной статье при помощи ряда экспериментов выявлены основные принципы правильного обучения искусственной нейронной сети (ИНС), получены общие закономерности по подбору параметров нейросетевой модели обучения. Также рассмотрено влияние количества обучающей выборки, величины запаздывания на достоверность полученного от ИНС результата. Обучения ИНС проводились по алгоритму Левенберга – Марквардта при помощи прикладного программного пакета The Neural Network Fitting Tool (Matlab).

N.I. Voitekhov, D.A. Chernyshev, A.N. Lykov

THE RESEARCH OF THE INFLUENCE OF THE STRUCTURAL PARAMETERS OF THE ARTIFICIAL NEURAL NETWORK AND THE NUMBER OF TRAINING SAMPLES ON THE AVERAGE OF THE AVERAGE-SQUARE ERROR OF THE OBTAINED RESULT. THE RECOMMENDATIONS ON SELECTING PARAMETERS AND TRAINING OF THE NETWORK

Keywords: artificial neural network, training sample, dynamic object model, ANN lag, mean square error.

In this article the basic principles of correct training of an artificial neural network (INS) are revealed with the help of a number of experiments, general patterns are found for selecting parameters of the neural network model of training. The influence of the number of training samples and the amount of delay on the reliability of the result obtained from the INS are also considered. The INS training was conducted using the Levenberg-Marquardt algorithm with the help of the application software package The Neural Network Fitting Tool (Matlab).

А.В. Волков, М.А. Бобров

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ФОТОЭЛЕКТРИЧСКОЙ ЭНЕРГИИ НА ОСНОВЕ GaN–ТРАНЗИСТОРА И КОМПЛЕКСНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ТРАНЗИСТОРОВ ИЗ НИТРИДА ГАЛЛИЯ

Ключевые слова: транзистор, преобразователь, нитрид галлия, кремний, карбид кремния, электронные приборы, оптоэлектроника, силовая электроника.

В статье рассматриваются достоинства и недостатки транзисторов из нитрида галлия по сравнению с транзисторами из кремния и карбида кремния и аналитический расчет для преобразователя фотоэлектрической энергии на основе GaN–транзистора EPC2020.

A.V. Volkov, M.A. Bobrov

MATHEMATICAL SIMULATION OF PHOTOELECTRIC ENERGY CONVERTER BASED ON GAN-TRANSISTOR AND COMPLEX STUDY OF TRANSISTORS AT NITRIDE OF GALLIUM

Keywords: transistor, converter, gallium nitride, silicon, silicon carbide, electronic devices, optoelectronics, power electronics.

The article advantages and disadvantages of gallium nitride transistors are compared with silicon and silicon carbide transistors and an analytical calculation for the photoelectric energy converter based on the GaN-transistor EPC2020.

Д.А. Даденков, Ф.Н. Баянов

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ЭКСПРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА БАЗЕ УЧЕБНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Ключевые слова: автоматизация, экспериментальные данные, планирование эксперимента, математическая модель, уравнение регрессии.

В данной работе рассматривается разработка автоматизированной системы экспериментальных исследований для построения математической модели методом планирования эксперимента. Ставится задача разработать алгоритмы снятия и обработки экспериментальных данных в среде LabVIEW в соответствии с выбранным планом.

D.A. Dadenkov, F.N. Bayanov

AUTOMATED CONTROL SYSTEM FOR EXPERIMENTAL RESEARCHES ON THE BASIS OF EDUCATIONAL-EXPERIMENTAL EQUIPMENT OF PULP-AND-PAPER INDUSTRY

Keywords: automation, experimental data, experiment planning, mathematical model, regression equation.

In this work development of automated system of the pilot studies for creation of a mathematical model is considered by method of planning of an experiment. The task to develop algorithms of collecting and processing of experimental data is offered and its program realization in the environment of LabVIEW to the selected plan is set.

С.Н. Дербенева, А.А. Бачурин

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПОТЕРЬ В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Ключевые слова: классификация потерь, методика расчета, программные комплексы.

В данной статье рассматриваются различные способы расчета технических потерь в системе электроснабжения. Представлена классификация потерь в различных классах оборудования. Разработана методика расчета потерь для различного оборудования. Рассмотрены различные программные комплексы для расчета потерь.

S.N. Derbeneva, A.A. Bachurin

AUTOMATED METHOD OF CALCULATION OF LOSSES IN THE POWER SYSTEM

Keywords: loss classification, calculation technique, software complexes.

In this article, various ways of calculating technical losses in the power supply system are considered. Classification of losses in different classes of equipment is presented. A methodology for calculating losses for various equipment has been developed. Various software complexes for calculating losses are considered.

С.Н. Каменских, А.А. Широков

АНАЛИЗ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОТОКОВ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Ключевые слова: информационные потоки, классификация информационных потоков, управленческая документация, техническая документация, технологическая документация

В статье приводится анализ информационных потоков промышленного предприятия и предлагается их классификация. Выявлены особенности информационных потоков, которые могут быть использованы для рационального выбора информационных систем.

S.N. Kamenskikh, A.A. Shirokov

ANALISYS OF INFORMATION FLOWS OF INDUSTRIAL ENTERPRISE

Keywords: informational flow, classification of informational flow, management documentation, technical documentation, technological documentation.

The article deals with the analysis of information flows of an industrial enterprise, and classifies them. The features of information flows for rational choice of information systems are revealed.

А.А. Клюкин, С.Н. Каменских, А.А. Широков

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОТОКОВ

Ключевые слова: автоматизированные информационные системы, классификация автоматизированных информационных систем, характеристики информационных потоков.

В данной статье рассматривается принцип выбора автоматизированных информационных систем, в основу которого положены особенности обрабатываемых информационных потоков. Целью такого выбора является оптимизация использования информационных систем различными подразделениями предприятия, оперирующими информационными потоками с близкими свойствами.

A.A. Klyukin, S.N. Kamenskikh, A.A. Shirokov

JUSTIFICATION OF THE CHOICE OF AUTOMATED INFORMATION SYSTEMA BASED ON ANALYSIS OF INFORMATION FLOWS

Keywords: automated information systems, classification of automated information systems, basic functions of automated information systems, information flows.

This article discusses the principle of choosing automated information systems based on the characteristics of information flows. The purpose of this choice is to optimize the use of information systems by different departments of operational information flows of an enterprise with similar properties.

Т.А. Кузнецова, В.Г. Августинович

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ОТКАЗОВ ДАТЧИКОВ КАНАЛОВ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ САУ ГТД

Ключевые слова: газотурбинный двигатель, система автоматического управления, датчик канала обратной связи, отказ, нейронная сеть.

Рассмотрены проблемы разработки систем управления современными авиационными газо-турбинными двигателями (САУ ГТД). Проанализирована возможность применения нейронных сетей для диагностики отказов. Приведен алгоритм обнаружения (коррекции) неисправности датчика канала обратной связи на основе нейронной сети.

T.A. Kuznetsova, V.G. Augustinovich

THE NEURAL NETWORK APPLICATION FOR FAULT DIAGNOSTICS OF FEEDBACK CHANNELS' SENSOR IN AUTOMATIC CONTROL SYSTEMS OF MODERN AIRCRAFT GAS-TURBINE ENGINES

Keywords: gas turbine engine, automatic control system, feedback channel sensor, fault, neural network

The problems of automatic control systems' design for modern aircraft gas-turbine engines (ACS GTE) are considered. The possibility of neural networks application for fault diagnostics is analyzed. The algorithm for fault detection (correction) of an feedback sensor based on a neural network is given.

А.В. Кухарчук, А.В. Ромодин

ВХОДНЫЕ ВОЗМУЩЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЕСТЕСТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ ДЛЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ВНУТРЕННИМ ОСВЕЩЕНИЕМ В УСЛОВИЯХ Г. ПЕРМЬ

Ключевые слова: освещенность, регулирование освещенности, модель освещения, коэффициент естественной освещенности.

Авторами статьи на основании статистических данных строительной климатологии сформированы данные о динамике изменения количественных показателей естественной освещенности ясного и облачного неба, а так же при переходе между ними. Определены условия для организации системы автоматического управления внутренним искусственным освещением с обеспечение регулирования не воспринимаемым человеческим глазом.

A.V. Kukharchuk, A.V. Romodin

CHANGES INDEXES OF NATURAL LIGHTING FOR THE CONTROL SYSTEM OF INTERNAL ILLUMINATION IN CONDITIONS CI. PERM

Keywords: Illumination, light control, lighting model, natural light factor.

The authors of the article based on the statistical data of construction climatology formed data on the dynamics of changes in the quantitative indices of natural illumination of clear and cloudy skies, as well as in the transition between them. The conditions for the organization of the automatic control system for internal artificial illumination with provision of regulation by the not perceived human eye are determined.

Д.Ю. Лейзгольд, А.В. Папулов, А.В. Ромодин

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ГЕНЕРИРУЮЩИХ МОЩНОСТЕЙ В СЕТЯХ С ДВУХСТОРОННИМ ПИТАНИЕМ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ ПОИСКА КРАТЧАЙШЕГО ПУТИ ВО ВЗВЕШЕННОМ ГРАФЕ

Ключевые слова: оптимизация электросетей, графы, распределение мощностей.

В работе рассматривается проблема оптимального распределения генерирующих мощностей в сетях с двухсторонним питанием. В качестве математического аппарата предлагается использовать метод поиска кратчайшего пути во взвешенном графе. Разработан алгоритм оптимизации нагрузки в сети и произведена апробация данного алгоритма.

D.Y. Leyzgold, A.V. Papulov, A.V. Romodin

DETERMINATION OF THE OPTIMAL DISTRIBUTION OF GENERATING POWER IN THE ELECTRIC POWER NETWORKS WITH BILATERAL SUPPLY BASED ON THE METHODS OF SEARCHING FOR THE SHORTEST WAY IN THE WEIGHTED GRAPH

Keywords: optimization of electrical networks, graphs, power distribution.

The paper considers the problem of the optimal distribution of generating capacities in networks with two-way power. As a mathematical tool, the method of finding the shortest path in a weighted graph is chosen. A suitable shortest path search algorithm is selected. Based on the chosen algorithm, an algorithm for optimizing the load in the network is compiled, and this algorithm is tested.

А.Н. Лыков, А.А. Шергина

РАЗРАБОТКА АЛЬТЕРНАТИВНОЙ АРХИТЕКТУРЫ SCADA-СИСТЕМЫ ДЛЯ НЕБОЛЬШИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Ключевые слова: SCADA-система, архитектура, компонент.

Настоящая статья посвящена разработке альтернативной архитектуры SCADA-системы для небольших предприятий. Рассмотрены различные подсистемы, поколения, варианты построения SCADA-систем. В результате выбран оптимальный набор функций для SCADA-системы небольшого предприятия.

М.И. Мелюхина, А.А. Широков

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОТОКОВ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ

Ключевые слова: энергоэффективность, энергопотребление, диспетчерский пульт, анализ данных, автоматизированные системы коммерческого учета электроэнергии.

Задачи повышения энергоэффективности имеют государственное значение. Вместе с тем, информационное взаимодействие участников рынка производства и потребления электроэнергии не в полной мере ориентировано на оптимизацию этих процессов. В частности, объективная информация, формируемая автоматизированными системами коммерческого учета электроэнергии используется в большинстве случаев только для начисления платежей потребителям.

В статье рассматриваются вопросы использования информации, формируемой на уровне потребления электроэнергии потребителями, приводятся рекомендации по получению и анализу необходимой информации от структур рынка передачи и потребления электроэнергии с целью оптимизации ее расходования и, соответственно, экономической привлекательности внедрения современных технологий.

В.А. Меньшенин, А.Н. Лыков

ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМЫ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА

Ключевые слова: контроллер, исполнительные механизмы, система управления, датчики, система кондиционирования.

Рассмотрены аспекты построения систем кондиционирования воздуха, обеспечивающих автоматическое поддержание в помещениях всех или отдельных его параметров (температуры, относительной влажности) на определенном уровне для создания оптимальных климатических условий. Приведен анализ вариантов построения системы кондиционирования. Предложена уровневая структура системы.

А.Ю. Москоков

РАСЧЕТ ФУНКЦИИ ДВИЖЕНИЯ СЕРВОПРИВОДА ДЛЯ РАСПРЕДЕЛЯЮЩЕГО МЕХАНИЗМА В КОНВЕЙЕРНЫХ ЛИНИЯХ

Ключевые слова: сервопривод, функция движения.

В статье рассмотрены вопросы построения функции движения для сервопривода распределяющего механизма в конвейерных линиях. Задача состоит в изменении интервалов движения рядов продукции при переходе от одного конвейера к другому, расчет приводится в общем случае для нескольких рядов продукции. В качестве программно-технического комплекса использовалось оборудование фирмы Allen Bradley.

И.С. Надеждин

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РАЗРЯДОВ МЕЖДУ МЕТАЛЛИЧЕСКИМИ ШАРИКАМИ В ВОДНОМ РАСТВОРЕ

Ключевые слова: разрядные дорожки, вероятностные клеточные автоматы, электроэрозионная обработка, металлические шарики.

В работе представлено математическое моделирование распространения электрических разрядов между металлическими шариками в водном растворе. Для разработки математической модели был использован метод вероятностных клеточных автоматов. Результаты моделирования были сопоставлены с экспериментальными данными.

A.N. Lykov, A.A. Shergina

DEVELOPMENT OF ALTERNATIVE ARCHITECTURE OF SCADA SYSTEM FOR SMALL COMPANIES

Keywords: SCADA-system, architecture, module.

This article is dedicated to the development of alternative architecture of SCADA-system for small companies. Review of different SCADA subsystems, generations and variety of SCADA-system architecture. Optimal SCADA functions was listed for small company.

M.I. Melyuhina, A.A. Shirokov

INVESTIGATION OF INFORMATION FLOWS IN ELECTRIC POWER ENGINE WITH THE PURPOSE OF ENERGY EFFICIENCY

Keywords: Energy efficiency, energy consumption, dispatching desk, data analysis, automated systems for commercial electricity metering.

The tasks of increasing energy efficiency are of national importance. At the same time, the information interaction between the participants in the market for the production and consumption of electricity is not fully focused on optimizing these processes. In particular, objective information generated by automated commercial electricity metering systems is used in most cases only for charging payments to consumers.

The article discusses the use of information generated at the level of electricity consumption by consumers, provides recommendations for obtaining and analyzing the necessary information from the structure of the market for transmission and consumption of electricity in order to optimize its consumption and, accordingly, the economic attractiveness of the introduction of modern technologies.

V.A. Menshenin, A.N. Lykov

AIR CONDITIONING SYSTEM DEVELOPEMENT

Keywords: controllers, actuation device, control system, sensors, conditioning system.

The aspects of air conditioning systems development was considered. It is noticed that the systems should provide automatic maintenance of all or some of its parameters (temperature, relative humidity) in a closed space at a certain level to crate mainly optimal meteorological conditions. The analysis of different variants of air conditioning systems development was provided. The level structure of the system was proposed.

A.Yu. Moskokov

CALCULATION OF THE SERVO MOTION FUNCTION FOR THE DISTRIBUTING MECHANISM IN CONVEYOR LINES

Keywords: servo, motion function.

The article deals with the construction of the motion function for the servo drive of the distributing mechanism in conveyor lines. The task is to change the intervals of motion of the series of products during the transition from one conveyor to another, the calculation is given in the general case for several series of products. As a software and hardware complex, Allen Bradley equipment was used.

I.S. Nadezhdin

MODELING THE DISTRIBUTION OF ELECTRIC DISCHARGE AMONG METAL BALLS IN AQUEOUS SOLUTIONS

Keywords: «tracks» discharges, probabilistic cellular automata, electrical discharge machining, metal balls.

The mathematical modeling of the distribution of electrical discharges between the metal balls in the aqueous solution is presented in this work. The method of probabilistic cellular automata was used to develop a mathematical model, since the distribution of electrical discharges is a stochastic phenomenon. The modeling results were compared with dedicate experimental data.

И.А. Ощепкова, О.А. Билоус

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ МАСЛООХЛАЖДЕНИЯ В ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩЕМ АГРЕГАТЕ

Ключевые слова: аппарат воздушного охлаждения масла (АВО), передаточная функция, ПД-регулятор.

Для осуществления автоматизации процесса воздушного охлаждения масла на газоперекачивающем агрегате ГПА-1601 "Иртыш" произведено математическое описание АВОН (аппарата воздушного охлаждения масла). Разработана структурная схема системы управления. Произведен расчет параметров передаточных функций элементов САУ и параметров регулятора с учетом режима. Произведено моделирование переходных процессов в режимах охлаждения и нагрева.

I.A. Oshchepkova, O.A. Bilous

AUTOMATIC CONTROL SYSTEM OF OIL COOLING PROCESS IN GAS-COMPRESSOR UNIT

Keywords: oil air cooling unit, transfer function, PD-regulator.

For automation of oil air cooling process in agas-compressorunitGPA-1601 "Irtysh", mathematical formulation of OACU (oil air cooling unit) is given. Manufacturing scheme elements and their purposes are described. Functional and algorithmic diagrams of control system are developed. Transfer functions parameters of automatic control system elements are calculated. Calculation of operational modes of the unit is given. Parameters of regulator are calculated with a glance to operational mode. Modeling of transient processes in heating and cooling regimes is carried out.

А.В. Папулов, А.А. Бачурин

МЕТОДИКА ВЫБОРА СПОСОБА МОДЕРНИЗАЦИИ СЕТЕЙ НАРУЖНОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Ключевые слова: наружное освещение, энергоэффективность, методика расчета, анализ решений.

В данной статье рассматриваются способы повышения энергоэффективности наружного освещения. Представлен обзор решений проблем в наружном освещении. Показана приблизительная оценка эффективности каждого мероприятия. Описан общий случай для расчета энергоэффективности мероприятий для наружного освещения.

A.V. Papulov, A.A. Bachurin

ANALYSIS OF EVALUATION OF THE EXCELLENCE OF THE MODERNIZATION OF OUTDOOR LIGHTING NETWORKS

Keywords: outdoor lighting, energy efficiency, calculation procedure, decision analysis.

This article discusses different ways of improving the energy efficiency of outdoor lighting. The overview of problemsin outdoor lighting is presented. Rough efficiency estimate of each measure is shown. A general case for the calculation of energy efficiency measures for the outdoor lighting is described.

Р.Н. Петухов, Н.И. Хорошев

КОНЦЕПЦИЯ ЕДИНОГО ИНФОРМАЦИОННОГО ПРОСТРАНСТВА ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО КЛАСТЕРА

Ключевые слова: единое информационное пространство, территориальный кластер, облачные технологии.

В статье рассмотрена концепция единого информационного пространства территориального кластера. В настоящих условиях, характеризующихся большими потоками информации, задача формирования единого информационного пространства остаются достаточно актуальными. В статье предложена структура информационного пространства кластера. Модели реализации доступа к информационному пространству в виде инфраструктуры и сервиса, на основе облачных технологий.

R.N. Petukhov, N.I. Horoshev

THE CONCEPT OF A SINGLE INFORMATION SPACE OF TERRITORIAL CLUSTER

Keywords: Single information space, territorial cluster, cloud technologies.

The article considers the concept of a single information space of a territorial cluster. In the present conditions, characterized by large information flows, the task of forming a single information space remains quite relevant. The article proposes the structure of the cluster information space. Models for realizing access to information space in the form of infrastructure and services, based on cloud technologies.

Р.А. Погоразdов, Н.И Хорошев

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РЕГУЛИРОВАНИЯ УРОВНЯ ЖИДКОСТИ В РЕЗЕРВУАРЕ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОГРАММИРУЕМОГО ЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЛЕРА И ПРОГРАММНОЙ СРЕДЫ MATLAB SIMULINK

Ключевые слова: резервуар, регулирование уровня, алгоритм, программируемый логический контроллер, Simatic S7-300, Simatic Step7, моделирование, Matlab, Simulink.

В данной статье рассматривается пример реализации модели резервуара с жидкостью в программной среде MATLAB Simulink и регулирование его уровня посредством реализации управляющего алгоритма в среде Simatic Step 7 на базе программируемого логического контроллера Siemens Simatic S7-300.

R.A. Pogorazdov, N.I. Khoroshev

MODELING THE PROCESS OF FILLING LIQUID INTO THE TANK AND MAINTAINING ITS LEVEL USING A S7-300 PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER

Keywords: tank, level control, algorithm, programmable logic controller, Simatic S7-300, Simatic Step7, simulation, Matlab, Simulink.

In this work considered an example of implementing a water tank model in the Matlab Simulink environment and regulating its level by implementing a control algorithm in the Simatic Step 7 environment based on the Siemens Simatic S7-300 programmable logic controller.

Ю.Г. Полкунов, Е.В. Спиридонова

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАГРУЖЕННОСТИ КОНИЧЕСКИХ ДИСКОВЫХ ИНСТРУМЕНТОВ

Ключевые слова: конический дисковый инструмент, разрушение, напряжения.

Статья посвящена разработке математической модели нагруженности конических дисковых инструментов при разрушении пород в условиях блокированного и свободного режимов разрушения. Адекватность результатов моделирования проверена на данных экспериментальных исследований.

Y.G. Polkunov, E.V. Spiridonova

MATHEMATICAL MODELLING OF LOADING CONIC DISK TOOLS

Keywords: conical disk tool, destruction, stresses.

The article is devoted to the development of a mathematical model of conical disk tools loading under rock destruction in conditions of blocked and free destruction regimes. The adequacy of the simulation results is verified on the basis of data from experimental studies.

П.А. Пуеров, А.Н. Лыков

КОНТРОЛЛЕРЫ «КОНТАР» ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Ключевые слова: контроллер, интерфейс, технологический процесс,

P.A. Puerov, A.N. Lykov

CONTROLLERS «KONTAR» FOR AUTOMATION OF TECHNOLOGICAL PROCESSES

Keywords: controllers, interface, technological processes,

система управления, датчики, автоматизация.

Работа посвящена исследованию принципов построения систем автоматизации на базе программно-технического комплекса «КОНТАР». Проведен сравнительный анализ технических характеристик оборудования с позиции импортозамещения. Рассмотрена архитектура комплекса, его компоненты, а также особенности их реализации при автоматизации и диспетчеризации различных объектов.

А.А. Путилова, Т.В. Костыгова

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЭМАЛИРОВАНИЯ И АНАЛИЗ РАБОТЫ ЭМАЛЬАГРЕГАТА MATE SV 70-224/2 ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ В ЭМАЛЬПЕЧИ

Ключевые слова: температура, скорость, эмальпечь, катализатор.

В данной работе были проведены вычисления, для определения оптимальной скорости эмальпечи, с учётом температуры и скорости воздуха внутри неё. Также была построена 2D модель, которая наглядно показывает распределение температуры в эмальпечи.

А.В. Ромодин, Д.Ю. Лейзгольд, М.С. Борисов

БЕЗЫТЕРАЦИОННЫЙ АЛГОРИТМ РАСЧЕТА РЕЖИМА ЭЭС ПРИ ЗАДАННОЙ НАГРУЗКЕ И НАПРЯЖЕНИИ ПИТАЮЩЕГО УЗЛА

Ключевые слова: установившийся режим, безытерационный расчет.

Авторами статьи предложен безытерационный алгоритм расчета напряжения в узле нагрузке при заданной мощности нагрузки и напряжении питания, который позволяет свести данный тип задач к расчету по конечным параметрам. Предложенный алгоритм позволяет сократить расчет в среднем на 9-10 итераций с минимальной погрешностью.

Е.П. Сеногноева, А.А. Бачурин

РАСЧЕТ И ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ УЧАСТКА СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ НЕФТЕДОБЫВАЮЩЕЙ ОТРАСЛИ

Ключевые слова: система электроснабжения, надежность, методика расчета, матричный метод, стоимость простоя.

Рассмотрена методика расчета надежности системы электроснабжения. Изложен матричный метод расчета сложных систем. Представлены результаты расчетов на примере участка системы электроснабжения нефтедобычи и приведена оценка стоимости простоя оборудования в случае отказа.

Д.В. Соколов

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЫПАРКИ УРАН-ПЛУТОНИЕВОЙ ЛИГАТУРЫ

Ключевые слова: компьютерное моделирование, выпарной аппарат система управления.

В работе представлена модель процесса выпарки с использованием ядерно-безопасного выпарного аппарата (ВА), с выносной электрической греющей камерой. Модель позволяет разработать систему управления ВА и провести предварительные испытания с использованием программных средств.

И.А. Спирин, Н.И. Хорошев

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КЛАССА ОБЪЕКТА НА ИЗОБРАЖЕНИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ EYE-TRACKING И МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Ключевые слова: Ай-трекинг, сегментация, определение класса объекта, машинное обучение, фиксации, ограничивающая рамка.

В работе рассмотрена проблема необходимости прогнозирования класса объекта на изображении с высокой точностью посредством математической модели. Для решения данной задачи производен сбор данных с использованием технологии eye-tracking. Разработана методика обнаружения класса объекта на изображении, которая

control system, sensors, automation.

The articke is devoted to the study of the principles of developing automation systems based on the software and hardware complex «KONTAR». A comparative analysis of the technical characteristics of the equipment from the position of import substitution was carried out. The architecture of the complex, its components, as well as the features of their implementation in the automation and dispatching of different objects was considered.

A.A. Putilova, T.V. Kostygova

MODELING OF THE ENAMELING PROCESS AND ANALYSIS OF THE MATE SV 70-224 / 2 ENAMELAGREGATE WORKING WITH THE CHANGING OF THE TECHNOLOGICAL CHARACTERISTIC OF THE ENAMELLING-OVEN

Keywords: temperature, velocity, enamelling-oven, catalyst.

In this article were carried out calculations to identify optimal velocity of the enamelling-oven with considering temperature and air speed inside it. Also was developed 2D model that visually shows temperature parceling at the enamelling-oven.

A.V. Romodin, D.Yu. Leyzgold, M.S. Borisov

NONITERATIVE POWER GRID CALCULATION EPS WITH THE ASSIGNED LOAD AND THE VOLTAGE OF THE SUPLY UNIT

Keywords: steady-state conditions, non-iterative calculation, capacity of load.

The authors proposed by the non-iterative algorithm for calculating load units with several power supplies for in optimization. Firstly, amplitudes of voltage values are determined, after that the phase of the vectors are specified. The suggested method enables to reduce the number of iterations, approximately, by 9-10 compared with the iterative methods with a commensurate accuracy.

E.P. Senognoeva, A.A. Bachurin

CALCULATION AND ESTIMATION OF THE RELIABILITY OF THE OF THE POWER SUPPLY SYSTEM CIRCUIT OF THE OIL PRODUCTION INDUSTRY

Keywords: power supply system, reliability, calculation methods, matrix method, cost of downtime.

The method of calculating the reliability of the power supply system. Described matrix calculation method of complex systems. The results of calculations on the example plot of power supply system of oil and the cost of downtime in case of failure.

D.V. Sokolov

MODELING OF THE URANIUM-PLUTONIUM LIATURE EVAPORATION PROCESS

Keywords: computer simulation, evaporator, control system.

This paper presents a model of the evaporation process using a nuclear-safe evaporator with a remote electric heating chamber. The model allows to develop a control system for evaporator and carry out preliminary tests using software.

I.A. Spirin, N.I. Horoshev

OBJECT CLASS DETECTION IN IMAGES USING EYE-TRACKING TECHNOLOGY AND MACHINE LEARNING APPROACHES

Keywords: Eye-tracking, segmentation, objects class definition, machine learning, fixation, bounding box.

In the research considered the problem of the need to predict class in image for target object detection with high accuracy by means of mathematical model is considered. To solve this problem, data are collected using eye-tracking technology. A technique is developed for detecting

апробирована на классификационной модели объектов.

Э.Д. Сурсяков, А.А. Бачурин
ПРИМЕНЕНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ АНАЛИЗА ДАННЫХ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОНАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ

Ключевые слова: электронасосный агрегат, электропривод, энергоэффективность, оптимизация, статистическая модель.

В работе представлены результаты статистического моделирования электронасосных агрегатов, на основании которых можно определить оптимальные режимы работы оборудования. Обоснована необходимость упрощения математической модели и перехода к модели, разработанной на основе «черного ящика». Перечислены некоторые из возможных алгоритмов интеллектуального анализа данных, которые могут быть применены в исследовании.

А.В. Татосов, А.И. Варавва
МОДЕЛЬ ПОДАЧИ РЕАГИРУЮЩЕЙ БИНАРНОЙ СМЕСИ В ПЛАСТ

Ключевые слова: пористая среда, многофазная фильтрация, экзотермическая реакция.

Предложена математическая модель подачи в продуктивный пласт реагирующей бинарной смеси. Учтены эффекты разогрева пласта и выделения газа. Проведен анализ уравнения переноса тепла.

Н.М. Труфанова, И.Я. Дятлов, В.В. Черняев
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВУЛКАНИЗАЦИИ ЧИСЛЕННЫМ МЕТОДОМ

Ключевые слова: Тепломассоперенос, вулканизация, сшивка, резина, численное моделирование, изоляция.

В статье предложена осесимметричная математическая модель процесса сшивки резиновой изоляции в условиях конвективного теплообмена в вулканизационной трубе. Численная реализация осуществлялась методом конечных элементов в программном комплексе АНСИС. Получены поля скоростей, температур и степени вулканизации в поперечных сечениях канала и по длине. Определено влияние параметров технологического процесса (величина давления пара в трубе и скорость изолирования) на степень сшивки.

Н.М. Труфанова, А.В. Козьминых, Н.А. Костарев
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЕЛИЧИНЫ ДЕБИТА И ТЕМПЕРАТУРЫ ЗАБОЯ НА ТЕМПЕРАТУРНОЕ ПОЛЕ СКВАЖИНЫ

Ключевые слова: Скважина; асфальтосмолопарафиновые отложения; метод конечных элементов; температура забоя; дебит.

В данной работе исследован процесс тепломассопереноса в нефтяной скважине. Численная реализация разработанной математической модели осуществлялась методом конечных элементов в среде Ansys 15. Исследовано влияние температуры забоя и дебита скважины на длину участка выпадения парафина. Построены зависимости распределения температуры на стенке НКТ по длине скважины от температуры забоя и дебита скважины.

Н.М. Труфанова, В.Э. Салаватов
ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЙ ОБОГРЕВА НА ТЕМПЕРАТУРНОЕ ПОЛЕ В ЖИЛОЙ КОМНАТЕ

Ключевые слова: Метод конечных элементов, тепломассоперенос, способы обогрева, температурное поле.

В работе на основе численного моделирования рассмотрены способы обогрева жилого помещения. Расчеты проведены с использованием программного комплекса ANSYS, методом конечных элементов. Получены поля температур при обогреве с помощью радиаторной батареи, теплого электрического пола и теплового электрического плинтуса. Цель исследования: определение эффективности различных способов обогрева.

Ф.П. Фадеев, И.А. Шмидт, К.А. Мехоношин
АВТОМАТИЗАЦИЯ БИЗНЕС-ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ И

an object class in image, which is checked on the classification model of objects.

E.D. Sursyakov, A.A. Bachurin
STATISTICAL METHODS APPLICATION OF DATA ANALYSIS FOR OPTIMIZATION OF ELECTRIC PUMPS OPERATING MODES

Keywords: pump, electric drive, energy efficiency, optimization, statistical model.

The article presents the results of statistical modeling of electric pump swhich could determine optimal operating modes of equipment. The necessity of mathematical model simplification and transition to a model developed on the basis of a "black box" is justified. Some of the possible data mining algorithms which could be applied in the study are listed.

A.V. Tatosov, A.I. Varavva
MODEL OF FEEDING BINARY MIXTURE IN PLAST

Keywords: porous medium, multiphase filtration, exothermic reaction.

A mathematical model of feeding a reactive binary mixture into the reservoir is proposed. The effects of the formation heating and gas evolution are taken into account. The heat transfer equations are analyzed.

N.M. Trufanova, I.Y. Djatlov, V.V. Chernyaev
VULCANIZATION PROCESS NUMERICAL RESEARCH

Keywords: Heat-mass transfer, vulcanization, curing, rubber, steam surrender, numerical modeling, insulation, cable.

In this article numerical analysis of process inside vulcanization tube for rubber insulation represented. Pressure and velocity Dependence for curing degree researched. Curves plotted for the dependence of the vulcanization degree on the tube length for certain parameters.

N.M. Trufanova, A.V. Kozminykh, N.A. Kostarev,
A STUDY OF THE INFLUENCE OF THE FLOW RATE AND DOWNHOLE TEMPERATURE ON THE TEMPERATURE ALONG THE WELL

Keywords: Oil well; heavy oil deposites asphaltene sediments; finite element method; downhole temperature; flow rate.

In this paper the process of heat and mass transfer in an oil well using the finite element method in Ansys 15 was studied. The influence of the downhole temperature and flow rate on the paraffin formation site was researched. Graphs of the temperature along the length of the well depending on the downhole temperature and flow rate are represented.

N.M. Trufanova ,V.E. Salavatov
INFLUENCE OF VARIOUS HEATING CONDITIONS ON THE TEMPERATURE FIELD IN THE RESIDENTIAL ROOM

Keywords: finite element method, heat and mass transfer, heating methods, temperature field.

In work on the basis of numerical modeling methods of heating of a dwelling premise are considered. The calculations were carried out using the ANSYS software package, the finite element method. The temperature fields are obtained during heating using a radiator battery, a warm electric floor and a thermal electric plinth. The purpose of the study was to determine the effectiveness of various heating methods.

F.P. Fadeev, I.A. Shmidt, K.A. Mehonoshin
AUTOMATION OF BUINESS PROCESS FOR

ОТПРАВКИ ЗАЯВКИ НА ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ИЗМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ

Ключевые слова: автоматизация, бизнес-процесс, PLM-система, конструкторская документация, SiemensTeamCenter».

В настоящей статье рассматриваются проблемы внедрения электронного документооборота на примере бизнес-процесса изготовления нового образца технологической оснастки. Проведен анализ существующего процесса, обозначены основные недостатки и предложен вариант нового процесса с использованием PLM-системы «SiemensTeamCenter».

FORMATION AND SENDING OF APPLICATION FOR DESIGNING AND CHANGING THE TECHNOLOGICAL EQUIPMENT

Keywords: automation, business process, PLM-system, design documentation,"Siemens TeamCenter".

In this article, we consider the problems of implementing electronic document management using the example of a business process for manufacturing a new sample of tooling. The analysis of the existing process was carried out, the main shortcomings were identified and a variant of the new process was proposed using the Siemens TeamCenter PLM system.

М.К. Хасанов

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ ГАЗОГИДРАТА СЕРОВОДОРОДА ПРИ ЕГО ИНЖЕКЦИИ В ПЛАСТ, НАСЫЩЕННЫЙ НЕФТЬЮ И ВОДОЙ

Ключевые слова: математическая модель, сероводород, нефть.

Представлена математическая модель образования газогидрата H_2S при закачке жидкого сероводорода в природный пласт, насыщенный нефтью и водой. Показано, что при достаточно высоких значениях массового расхода инжекции сероводорода температура на фронте гидратообразования может подниматься выше равновесной температуры разложения газогидрата H_2S.

M.K. Khasanov

MATHEMATICAL MODELING OF THE FORMATION OF HYDROGEN SULFIDE HYDRATE WITH ITS INJECTION INTO A LAYER SATURATED WITH OIL AND WATER

Keywords: mathematical model, hydrogen sulphide, oil.

A mathematical model for the formation of H_2S gas hydrate during the injection of liquid hydrogen sulfide into a natural reservoir saturated with oil and water is presented. It is shown that at sufficiently high values of the mass flow rate of hydrogen sulfide injection, the temperature at the hydrate formation front can rise above the equilibrium decomposition temperature of the H_2S gas hydrate.

М.А. Чалов, А.Н. Лыков

ИНТЕРФЕЙСЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАБОЧЕГО МЕСТА НА РАЗЛИЧНЫХ УСТРОЙСТВАХ

Ключевые слова: автоматизированное рабочее место, SVG, SCADA-система, HMI элементы, операционная система, WebView, браузер.

Настоящая статья посвящена проблеме создания интерфейсов автоматизированного рабочего места на различных устройствах. Были рассмотрены различные способы создания интерфейсов.В результате выявлена возможность создания интерфейсов автоматизированного рабочего места практически на любом современном устройстве благодаря технологии WebView и стандарту SVG.

M.A. Chalov, A.N. Lykov

HMI ELEMENTS ON DIFFERENT DEVICES

Keywords: SVG, SCADA-system, HMI elements, operating system, WebView, browser.

This article is dedicated to the problem of HMI on different devices. Where was research of this problem and suggested way to resolve it. Suggested way allow to create HMI elements on wide range of devices using WebView and SVG standard.

М.А. Чалов, И.А. Шмидт

ХРАНЕНИЕ ДАННЫХ СТЕНДОВЫХ ИСПЫТАНИЙ

Ключевые слова: хранение данных, MongoDB, Java, тренды.

В данной статье рассмотрены способы хранения данных стендовых испытаний. Выявлены недостатки существующего решения по хранению данных в виде двухуровневой архитектуры. Была предложена подсистема хранения параметров, базирующаяся на применении документо-ориентированной базы данных MongoDB; предложены способы хранения данных стендовых испытаний в JSON формате в ДОБД.

M.A. Chalov, I.A. Shmidt

STORAGE OF DATA OF THE TEST STANDS

Keywords: storage of data, MongoDB, Java, trends.

The article deals methods for storing of data of the test stands. Shortcomings of the existing solution for data storage in the form of a two-level architecture are revealed. Found the drawbacks of the existing method for storage of information in the form of relation data model. Was proposed subsystem of storage of data based on the application of document-oriented database MongoDB and proven it choice; methods for storing of data of the test stands in the JSON format in DODB are proposed.

М.В. Чирков

УПРАВЛЕНИЕ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОТИВОВИРУСНОГО ИММУННОГО ОТВЕТА

Ключевые слова: математическая модель инфекционного заболевания, идентификация параметров, дискретное управление, иммунотерапия.

Цель работы заключается в численном решении задачи дискретного управления иммунным ответом при инфекционном заболевании в условиях неопределенности. Задача дискретного управления представлена нелинейной системой обыкновенных дифференциальных уравнений с запаздывающим аргументом. Условия неопределенности означают, что значения параметров модели не известны, а их оценка корректируется по мере поступления новых клинико-лабораторных данных. Показано, что иммунотерапия позволяет проводить эффективное лечение при острой форме инфекционного заболевания.

M.V. Chirkov

CONTROL WITH UNCERTAINTY IN THE MATHEMATICAL MODEL OF ANTIVIRAL IMMUNE RESPONSE

Keywords: mathematical model of infectious disease, parameter identification, discrete control, immunotherapy.

The aim of this research is to numerically solve a problem of discrete control with uncertainty of the immune response in infectious disease. The problem of discrete control is described by a nonlinear system of ordinary differential equations with a retarded argument. Control with uncertainty implies that the parameter values are unknown and parameter estimation is adjusted as new experimental values become available.

Е.В. Шаврина

ПРИМЕНЕНИЕ МОДИФИКАЦИИ МОДЕЛИ ТУРБУЛЕНТНОСТИ

E.V. Shavrina

APPLICATION OF THE K-E TURBULENCE MODEL

К-Е ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ СВЕРХЗВУКОВЫХ СТРУЙ

Ключевые слова: Модификация модели турбулентности k-e, сверхзвуковое течение, модели турбулентности Молчанова, База.

Представлены результаты работы по модификации стандартной модели k-e для сверхзвуковой неизобарической струи. Для определения точности полученной модели было проведено компьютерное моделирование и сравнение с экспериментальными данными.

MODIFICATION FOR MODELING SUPERSONIC JETS

Keywords: Modification of the k-e turbulence model, supersonic flow, Molchanov's and Baz's turbulence models.

The results of the k-e turbulence model modification for a supersonic non-isobaric jet are presented. To determine the accuracy of the model, computer simulation and comparison with experimental data were carried out.

В.А. Шаманов

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ДОЗИРОВАНИЯ КОМПОНЕНТОВ АВТОКЛАВНОГО ГАЗОБЕТОНА

Ключевые слова: математическая модель, технологический процесс, газобетон, дозирование, поддержка принятия решений.

Целью данной статьи является разработка математической модели технологического процесса дозирования компонентов автоклавного газобетона, призванной выявить различного рода связи между входными координатами и помехами, управляющими воздействиями и качеством конечного продукта. На основе методов математического планирования эксперимента были получены зависимости изменения показателей качества автоклавного газобетона от состава смеси. Математическая модель может быть использована при поддержке принятия решений при управлении процессом дозирования компонентов на предприятиях по производству блоков из ячеистого бетона.

V.A. Shamanov

MATHEMATICAL MODEL OF METERING CONTROL OF AAC's COMPONENTS

Keywords: mathematical model, technological process, aerated concrete, dosing, decision support.

The purpose of this article is to develop a mathematical model for the technological process of dispensing components of autoclaved aerated concrete, designed to identify various types of relationships between input coordinates, control actions and the quality of the final product. Based on the methods of mathematical planning of the experiment, mathematical dependences of the change in the quality indices of autoclaved aerated concrete from the initial mixture composition were obtained. The mathematical model can be used in the implementation of quality management of the finished product by supporting decision-making at the stage of dosing components at factories producing blocks from autoclaved aerated concrete.

В.Н. Шведенко, О.В. Щекочихин, Т.М. Ровинская

МЕТОДИКА РАЗРАБОТКИ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ, ОБЛАДАЮЩЕЙ СВОЙСТВОМ ПОВЕДЕНИЯ, НА ПРИМЕРЕ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ЗАКУПОЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Ключевые слова: интегрированная информационная система, поведение информационной системы, модель поведения.

Представлена архитектура информационной системы с поведением, дано понятие модель поведения, показан пример реализации модели поведения на основе анализа расхода материальных ресурсов промышленного предприятия методами статистической обработки информации.

V.N. Shvedenko, O.V. Schekochikhin, T.M. Rovinskaya

ONTOLOGY CONCEPTS OF INFORMATION SYSTEM BEHAVIOR

Keywords: integrated information system, information system behavior, behavior model.

The architecture of the information system with behavior is presented, the concept of the behavior model is given, the comparative analysis is given.

Д.В. Шиляев, О.А. Билоус

ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ВЕНТИЛЯЦИЕЙ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЕМ НА БАЗЕ ПРОГРАММИРУЕМОГО ЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЛЕРА И РЕЛЕЙНОЙ ЛОГИКИ

Ключевые слова: автоматика вентиляции и кондиционирования, релейная логика, программируемый логический контроллер, микроклимат.

Рассмотрены технические решения, применяемые для автоматизации и диспетчеризации инженерного оборудования зданий и сооружений. Проведен анализ проекта механической инженерной системы вентиляции и кондиционирования офисного здания. Разработана автоматизированная системы для обеспечения комфортного микроклимата, для снижения энергозатрат и эксплуатационных издержек, для увеличения безопасности, для контроля износа оборудования и действий персонала, для упрощения управления системой в целом.

D.V. Shilyaev, O.A. Bilous

DEVELOPMENT OF AUTOMATED CONTROL SYSTEM FOR VENTILATION AND AIR CONDITIONING SYSTEM BASED ON PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER AND RELAY LOGIC

Keywords: ventilation and air conditioning system automation, relay logic, programmable logic controller, microclimate.

The article considers engineering decisions applied for automation and dispatching of building installations. Design review of mechanical ventilation and air conditioning system of office block is carried out. Automated system providing comfort microclimate and power inputs and operating expenses decrease, safety increase, equipment life management, personnel operation control and simplification of controlling the system as a whole is developed

И.А. Шмидт, К.А. Механошин, А.С. Семушева

АВТОМАТИЗАЦИЯ БИЗНЕС-ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ И ОТПРАВКИ ЗАЯВКИ НА ИЗМЕНЕНИЕ КОНСТРУКТОРСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

Ключевые слова: автоматизация, бизнес-процесс,PLM-система, конструкторская документация, SiemensTeamCenter, управление конфигурацией.

Настоящая статья посвящена проблеме внедрения электронного документооборота в условиях предприятия. Для этого был рассмотрен уже существующий бизнес-процесс формирования и отправки заявки на изменение конструкторской документации. В ходе работы был проведен анализ процесса, выявлены недостатки и

I.A. Shmidt, K.A. Mehonoshin, A.S. Semusheva

AUTOMATION OF BUSINESS PROCESS OF FORMATION AND SENDING OF APPLICATION FOR CHANGE OF DESIGN DOCUMENTATION

Keywords: automation, business process, PLM-system, electronic document management, design documentation, «Siemens TeamCenter».

This article is devoted to the problem of the introduction of electronic document management in an enterprise. For this, the already existing business process for the formation and sending of an application for the modification of design documentation was considered. Further, the process

слабые стороны существующей системы. Для их устранения было предложено использовать PLM-систему TeamCenter. Был разработан новый бизнес-процесс, с учетом использования система электронного документооборота. После рассмотрения этого бизнес-процесса были сделаны выводы о целесообразности и адекватности использования данного решения, которое рекомендовано к внедрению.

was analyzed, shortcomings and weaknesses were identified. For their elimination it was suggested to use the PLM-system "Siemens TeamCenter". A new business process was developed, taking into account the use of the electronic document management system. After considering this business process, conclusions were drawn about the appropriateness and adequacy of the use of this solution, the decision was recommended for implementation.

И.А. Шмидт, А.А Шергина

ИСПЫТАТЕЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО. УРОВНИ ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА. РЕАЛИЗАЦИЯ ТРЕТЬЕГО УРОВНЯ

Ключевые слова: испытательное производство, третий уровень.

Рассмотрено понятие «испытательное производство», и его место при проведении испытаний сложных технических изделий. Представлен вариант реализации «третьего» уровня предприятия и его интеграции с нижними уровнями, описаны функции и задачи каждого из уровней. Отслежена связь жизненного цикла изделия с третьим уровнем испытательного производства.

I.A. Shmidt, A.A. Shergina

PRODUCTION TEST. LEVELS OF PRODUCTION TEST. IMPLEMENTATION OF THE THIRD LEVEL

Keywords: production test, third level.

The article deals with a concept such as «production test», also what place it has in the production during the testing of complex industrial products, which advantages it has. There's explained that is the «lower» and «upper» levels of APCS's tests, what they contain and what functions are performed during bench testing. There's presented version of the implementation of the «third» level of enterprise and its integration with the lower levels, is described its functions and objectives. Also in the article there is general formulation of the product lifecycle and is held its connection with a trial production.

А.Г. Щербинин, А.С. Мансуров, А.А. Порошин

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКЦИИ КАБЕЛЬНОГО ЭКРАНА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭКРАНИРОВАНИЯ

Ключевые слова: исследование, эффективность экранирования, проволочные экраны, математическое моделирование, ANSYS.

Используя математическое моделирование, проведены численные исследования влияния конструкции кабельного экрана в виде оплетки из проволок на эффективность экранирования в диапазоне частот от 100 кГц до 10 МГц. С помощью метода конечных элементов в программном комплексе ANSYS получены распределения напряженности магнитного поля в исследуемой области при наличии и отсутствии экрана, по результатам, которых определено затухание экранирования.

A.G. Shcherbinin, A.S. Mansurov, A.A. Poroshin

INVESTIGATION AS THE CONSTRUCTION OF THE CABLE SHIELD INFLUENCE THE SHIEKDING EFFICIENCY

Keywords: research, shielding efficiency, cylindrical shields, mathematical modeling, ANSYS.

Using mathematical modeling, numerical studies of the influence of the cable shield design in the form of wire braiding on shielding efficiency in the frequency range from 100 kHz to 10 MHz were carried out. Using the finite element method in the ANSYS software complex, the magnetic field strengths in the investigated region were obtained in the presence and absence of a shield, according to the results, which determined the shielding attenuation.

А.С. Якутов, К.А. Борковец, А.В. Ромодин

ПРИМЕНЕНИЕ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО КОНТРОЛЛЕРА В СИСТЕМЕ АВТОМАТИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Ключевые слова: многофункциональный контроллер, система автоматизации, система электроснабжения, логические схемы.

В статье рассматриваются многофункциональные контроллеры применяемые для систем автоматизации. Для рассмотрения были взяты наиболее распространённые на рынке модели контроллеров и произведен их сравнительный анализ. Разработана и представлена структурная схема системы автоматизации распределительного пункта с использованием в качестве головного элемента многофункционального контроллера, а та же разработан алгоритм отключения системы электроснабжения при коротком замыкании в сети и обнаружения места возникновения токов короткого.

A.S. Yakutov, K.A. Borkovets A.V. Romodin

APPLICATION OF MULTIFUNCTIONAL CONTROLLER IN THE AUTOMATION SYSTEM OF ELECTRICAL SUPPLY

Keywords: multifunctional controller, automation system, power supply system, logic circuits.

The article deals with multifunctional controllers used for automation systems. For consideration, the most common controller models were used and their comparative analysis was carried out. The structural diagram of the automation system of the distribution center with the use of a multifunctional controller as the head element was developed and presented, and the same algorithm was developed for switching off the power supply system in case of a short circuit in the network and detecting the location of short currents.

А.С. Якутов, А.В. Ромодин

ВЫБОР СИСТЕМЫ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ СРЕДНЕГО НАПРЯЖЕНИЯ

Ключевые слова: Система повышения надежности распределительной сети, автоматизированная система управления технологическим процессом, многофункциональный контролер, отказ системы электроснабжения.

В статье рассматриваются системы повышения надежности распределительных сетей среднего напряжения –0,4/6/10 кВ. Произведен мониторинг отказов системы электроснабжения. Для выбранных систем, призванных повысить надежность распределительной сети была произведена оценка их внедрения.

A.S. Yakutov, A.V. Romodin

SELECTION OF THE SYSTEM OF IMPROVING THE RELIABILITY OF THE DISTRIBUTION NETWORK OF AVERAGE VOLTAGE

Keywords: System for improving the reliability of the distribution network, automated process control system, multifunction controller, failure of the power supply system.

The article considers systems for increasing the reliability of medium voltage distribution networks - 0.4 / 6/10 kV. Monitoring of failures of the power supply system was made. For the selected distribution network automation systems, the implementation of these systems was evaluated.

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

№4 2017

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 21.08.2017 Формат 60 х 84 1/8. Печать цифровая.

15 усл.печ.л. 17,3 уч.изд.л. Тираж 900 экз. Заказ 825.

Учредитель: ООО "Научно-технический вестник Поволжья"
420111, Республика Татарстан, Казань,
ул. Университетская, д.22, оф. 310
Адрес редакции, издателя и типографии совпадают с адресом учредителя
Цена свободная.

© Научно-технический вестник Поволжья

тел.(843) 216-30-35

факс:(843) 238-32-08

Отпечатано с готового оригинал-макета

ООО «Научно-технический вестник Поволжья»