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

№1 2013

Направления:

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ
ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ
ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Казань

2013

УДК 60

ББК 30-1

Н-66

Н-66 Научно-технический вестник Поволжья. №1 2013г. – Казань: Научно-технический вестник Поволжья, 2013. – 316 с.

ISSN 2079-5920

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

И.Н. Дияров – д.т.н., проф.; *Б.Н. Иванов* – д.т.н., проф.; *В.С. Минкин* – д.х.н., проф.;

В.К. Половняк – д.х.н., проф.; *Х.Э. Харлампиди* – д.х.н., проф.;

Р.Х. Шагимуллин – к.т.н., проф.

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

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

УДК 60

ББК 30-1

 © Научно-технический вестник Поволжья, 2013 г.

СОДЕРЖАНИЕ

В.К. Половняк, Л.Н. Хафизова, О.В. Нестеров, С.С. Ксембаев ПРИРОДА АДГЕЗИИ БИОСОВМЕСТИМОГО СОРБЕНТА «ЦЕЛОФОРМ» К РАНЕВЫМ ПОВЕРХНОСТЯМ 11

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

Динь Тьен Зунг ПЕРСПЕКТИВНЫЕ СХЕМЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ГТУ НА БАЗЕ АВИАЦИОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ 14

В.В. Дружинин МЕТОД КВАДРАТИЧНОГО ТОЖДЕСТВА ПРИ РЕШЕНИИ ДИОФАНТОВЫХ УРАВНЕНИЙ 19

С.А. Костарева, А.А. Мусеев ИДЕНТИФИКАЦИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СТЕРЖНЯ НА ОСНОВЕ РЕШЕНИЯ ОБРАТНЫХ ЗАДАЧ 24

Д.Г. Лазаренко, Г.Э. Лазаренко, П.И. Прудников, И.И. Андрюшин РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ТЕРМОЭМИССИОННОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ НА ОСНОВЕ КАПЕЛЬНО-ПЛАЗМЕННОЙ РАБОЧЕЙ СРЕДЫ 28

В.М. Леонов АНАЛИЗ ФОРМОИЗМЕНЕНИЯ МАТЕРИАЛА С НЕЛИНЕЙНЫМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ХАРАКТЕРИСТИК 31

А.Г. Поздеев, Ю.А. Кузнецова МОДЕЛЬ ЖИДКОСТИ С ИСЧЕЗАЮЩЕЙ ВЯЗКОСТЬЮ 35

А.Г. Поздеев, Ю.А. Кузнецова МЕХАНИЗМ ДВУМЕРНОГО ОТРЫВА ПОТОКА 40

В.В. Трегулов, В.А. Степанов, Г.Н. Скопцова РАССЕЯНИЕ СВЕТА В АНТИОТРАЖАЮЩЕМ ПОКРЫТИИ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ НА ОСНОВЕ КРЕМНИЯ 46

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

А.П. Баюнов, С.Н. Смарыгин ВЛИЯНИЕ ВЛАЖНОСТИ НА РЕЗУЛЬТАТЫ БИК-АНАЛИЗА КОМБИКОРМОВ И СПОСОБЫ ЕЕ УЧЕТА 50

А.Р. Гатауллин, С.А. Богданова, Л.Я. Захарова, Ю.Г. Галяметдинов ДЕЗАГРЕГАЦИЯ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК В РАСТВОРАХ НЕИОННЫХ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ 57

И.Г. Рыльцова, Р.Н. Саенко, О.Е. Лебедева ПРОЦЕСС КРИСТАЛЛИЗАЦИИ КОБАЛЬТСОДЕРЖАЩИХ СЛОИСТЫХ ДВОЙНЫХ ГИДРОКСИДОВ 63

А.А. Хасанов, В.А. Ефимов К МЕТОДОЛОГИИ РАСЧЕТА МОЛЕКУЛЯРНО-МАССОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛИМЕРОВ 67

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Г.В. Абакумов, М.С. Данильченко, А.Н. Макарова КОРРЕКТИРОВАНИЕ НОРМАТИВОВ РЕСУРСА АВТОМОБИЛЬНЫХ ШИН С УЧЕТОМ ФАКТОРОВ, ОЦЕНИВАЕМЫХ КАЧЕСТВЕННЫМИ ПРИЗНАКАМИ 71

Р.И. Адгамов, С.В. Дмитриев, Т.Н. Каримов, А.Х. Хайруллин МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО МНОГОНОМЕНКЛАТУРНОГО ПРОИЗВОДСТВА В МАШИНОСТРОЕНИИ С УЧЕТОМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ВНУТРЕННИХ ФАКТОРОВ 75

А.В. Аминаров, А.С. Андреев, А.Н. Куликова ОБ УПРАВЛЕНИИ ДВИЖЕНИЕМ УПРУГОГО ТЕЛА В ВЯЗКОЙ СРЕДЕ 79

А.С. Андреев, В.В. Благодатнов, А.Р. Кильметова УРАВНЕНИЯ ВОЛЬТЕРРА В МОДЕЛИРОВАНИИ ПИ- И ПИД-РЕГУЛЯТОРОВ 84

В.В. Андреев, К.Г. Петров, Н.П. Тарасова, В.А. Чирков ФОРМИРОВАНИЕ ОНТОЛОГИЧЕСКИХ И ДЕЯТЕЛЬНОСТНЫХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ СТУДЕНТОВ В ПРАКТИКЕ ОБУЧЕНИЯ 91
А.О. Артемова, Г.А. Шепелев О МЕТОДЕ ВЕКТОРНЫХ ФУНКЦИОНАЛОВ ЛЯПУНОВА В ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ 95
А.С. Багдасаров, Д.А. Урусов АНАЛИЗ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОГО МЕТОДА ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ФОСФОГИПСА ОАО «НЕВИННОМЫССКИЙ АЗОТ» 100
Ф.Д. Байрамов, Б.Ф. Байрамов, А.Р. Фардеев АВТОМАТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ РАСХОДА ЖИДКОСТИ В ГИДРОСИСТЕМАХ С КОМБИНИРОВАННЫМ ЭНЕРГОПИТАНИЕМ 104
Н.Л. Бельская, П.А. Савельев АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ МОНИТОРИНГОМ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ВУЗА 109
А.П. Буйносов, К.А. Стаценко, Е.В. Бган, Я.А. Мишин ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЧИН ПОВРЕЖДЕНИЯ ПОДШИПНИКОВ ТЯГОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОВОЗОВ 113
А.П. Буйносов, К.А. Стаценко, Е.В. Бган, Е.А. Гузенкова, Я.А. Мишин ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ РОЛИКОВЫХ ПОДШИПНИКОВ ТЯГОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОВОЗОВ ПОСТОЯННОГО ТОКА 117
А.П. Буйносов, К.А. Стаценко, Е.В. Бган, Я.А. Мишин РАЗРАБОТКА СПОСОБА ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ МОНТАЖНЫХ ЗАДИРОВ ЯКОРНЫХ ПОДШИПНИКОВ ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОВОЗОВ 121
А.П. Буйносов, А.М. Кислицын СТРУКТУРНАЯ СХЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ОБМЕРА КОЛЕСНЫХ ПАР ЛОКОМОТИВОВ 125
А.П. Буйносов, Д.Ю. Козаков АНАЛИЗ ПРИЧИН ПРЕЖДЕВРЕМЕННОГО ВЫХОДА ИЗ СТРОЯ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ НА ЭЛЕКТРОПОЕЗДАХ 128
С.Н. Буликов, М.В. Лысанова, В.Д. Сухов УНИФИЦИРОВАННОЕ ПОТОЧНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ 131
С.Н. Буликов, М.В. Лысанова, В.Д. Сухов ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ КАЛЕНДАРНЫХ ПАРАМЕТРОВ СТРОИТЕЛЬСТВА 135
А.Н. Бушуев, Е.А. Праслова ГАЗОПОРШНЕВЫЕ И ГАЗОТУРБИННЫЕ СИСТЕМЫ ПРИ ИНДИВИДУАЛЬНОМ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИИ ЭЛЕКТРОСТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА 139
Р.А. Валиев, Т.Н. Каримов, Р.К. Сибгатуллин, А.Х. Хайруллин МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ЗАДАЧА ПЛАНИРОВАНИЯ ДОСТАВКИ ТОПЛИВА ТРАНСПОРТНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ КОМПАНИЕЙ СЕТЯМ АЗС 143
С.С. Валькова, А.В. Степанец, В.Е. Верютина ФОРМИРОВАНИЕ КОМПЛЕКСА ЗАДАЧ ПО УПРАВЛЕНИЮ ОБРАБОТКОЙ Ж.-Д. ВАГОНОВ В МОРСКОМ ПОРТУ 146
М.И. Глушко, Е.В. Федоров КОНТРОЛЬ ПЕРЕКРЫТИЯ КОНЦЕВЫХ КРАНОВ В ПОЕЗДЕ 151
А.О. Голубева МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕХАНИЗМА АДАПТАЦИИ ПРОЦЕССОВ ОРГАНИЗАЦИИ В АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ 155
С.А. Гусаров ВЫБОР ОСНОВНЫХ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КОМБИНИРОВАННОЙ ГАЗОПАРОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ НА БАЗЕ АВИАЦИОННОГО ТВД ТВ7-117С 159
С.В. Дмитриев, Т.Н. Каримов, А.Х. Хайруллин ПОСТРОЕНИЕ УНИФИЦИРОВАННОГО ПРОГРАММНОГО И ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ И СРЕДСТВ ИХ НАСТРОЙКИ 163
С.В. Дмитриев, В.Б. Хлюпин МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАСЧЕТА ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ ДИЗЕЛЯ С ВПРЫСКОМ ВОДЫ В ВОЗДУХОЗАБОРНЫЙ ТРУБОПРОВОД 166

С.В. Дмитриев, В.Б. Хлюпин УТОЧНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ РАСЧЕТА ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ ДИЗЕЛЯ С ВПРЫСКОМ ВОДЫ В ВОЗДУХОЗАБОРНЫЙ ТРУБОПРОВОД 170
В.И. Зубкова, С.Ф. Коренькова, Н.И. Малявский ПРИРОДНОЕ И ТЕХНОГЕННОЕ НАНОСЫРЬЕ В ПРОИЗВОДСТВЕ СМЕШАННЫХ ВЯЖУЩИХ 174
А.В. Иванов, А.С. Пахомов РЕНГЕНОВСКИЙ МИКРОСТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ ПАЯНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ОЛОВЯННО - СВИНЦОВЫХ BGA – КОМПОНЕНТОВ, МОНТИРОВАННЫХ ПРИПОЕМ ОЛОВО – СВИНЕЦ 177
Т.Н. Иванова, П.А. Коробейников ВЛИЯНИЕ СМАЗОЧНОГО ЭФФЕКТА СОЖ НА АЛМАЗНУЮ ОБРАБОТКУ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ТРУДНООБРАБАТЫВАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ 182
А.М. Игнатова, В.Л. Попов, Б.Ю. Антонов, М.Н. Игнатов КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННОЙ МАЛОГАБАРИТНОЙ ДУГОВОЙ ПЕЧИ ДЛЯ ПЛАВКИ ПЕТРУРГИЧЕСКОГО СЫРЬЯ 185
А.М. Игнатова, О.Ю. Шешуков, М.Н. Игнатов РЕЦИКЛИНГ ТЕКУЩЕГО ДОМЕННОГО ШЛАКА С ПОМОЩЬЮ ЛИТЕЙНОГО МОДУЛЯ НА ПЛОЩАДКАХ ЦЕХОВ ШЛАКОПЕРЕРАБОТКИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ 190
А.С. Калитвин, В.А. Калитвин МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНТЕГРО-ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫМИ УРАВНЕНИЯМИ С ОПЕРАТОРАМИ РОМАНОВСКОГО И БАРБАШИНА 198
А.С. Калитвин, В.А. Калитвин О МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ МНОГОСВЯЗНОЙ ЦЕПИ МАРКОВА 202
Ю.П. Кирин, В.В. Кирьянов ЭВРИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ВАКУУМНОЙ СЕПАРАЦИИ ГУБЧАТОГО ТИТАНА 206
Ю.П. Кирин, В.В. Кирьянов, Л.А. Щепин МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ВАКУУМНОЙ СЕПАРАЦИИ ГУБЧАТОГО ТИТАНА 209
М.А. Кисляков, С.Г. Мосин ПРИМЕНЕНИЕ КРИВЫХ ГИЛЬБЕРТА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ КЛАСТЕРИЗАЦИИ ТОПОЛОГИИ СЕНСОРНОЙ СЕТИ 213
Е.А. Кудашова, Е.Э. Звягинцева ОБ УПРАВЛЕНИИ МЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ С ЦИКЛИЧЕСКИМИ КООРДИНАТАМИ 217
Л.П. Лагодина СВОЙСТВА ВЕСОВЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ В ПОЛИКООРДИНАТНЫХ ОТОБРАЖЕНИЯХ 222
Р.И. Насыров ЦЕЛЕВАЯ ФУНКЦИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ПРОГРАММЫ ОЦЕНКИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НАДЕЖНОСТИ НАКОПИТЕЛЕЙ ИНФОРМАЦИИ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯМИ 226
О.А. Новоселов КЛАССИФИКАЦИЯ СТРУКТУР ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ В НЕФТЕГАЗОВОМ КОМПЛЕКСЕ 230
А.А. Орлов МЕТОДИКА ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И ТОЧНОСТИ ТОКАРНО-АВТОМАТНЫХ ОПЕРАЦИЙ НА ОСНОВЕ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ 234
С.А. Пашкевич, А.П. Пустовгар, А.Д. Веденин, Ф.А. Гребенщиков ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ФАСАДНЫХ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ ФИБРОКОМПОЗИТОВ 237
В.Л. Попов, Б.Ю. Антонов, А.М. Игнатова ЭВОЛЮЦИОННОЕ РАЗВИТИЕ И КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СОВРЕМЕННОЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ ПЕЧИ ДЛЯ ПЛАВКИ ПЕТРУРГИЧЕСКОГО СЫРЬЯ 240
Н.Н. Прокопенко, В.Г. Манжула МИКРОЭЛЕКТРОННЫЙ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ ДЛЯ СЕНСОРОВ С ВЫСОКИМ ВЫХОДНЫМ СОПРОТИВЛЕНИЕМ 245
Т.В. Прохорова ОСОБЕННОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ В УРБАНИЗИРОВАННОЙ СРЕДЕ 249

А.П. Пустовгар, А.Д. Веденин ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ НАНОКОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ АЭРОГЕЛЯ КРЕМНЕЗЕМА 252
В.Я. Свинцов, Е.Н. Шматова, М.С. Хлыстунов, Р.В. Муканов ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИЙ СПОСОБ ДИСПЕРГИРОВАНИЯ ЖИДКИХ ТОПЛИВ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К КОТЕЛЬНЫМ УСТАНОВКАМ 255
В.С. Симанков, Е.С. Тарасов, С.А. Шилов КОНЦЕПЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ ИЕРАРХИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ СИТУАЦИОННЫХ ЦЕНТРОВ КАК ПЛАТФОРМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ И АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ 259
В.В. Слепцов, А.М. Васильев, М.А. Костромин, А.П. Резько АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК И СИНТЕЗ КОНТУРОВ ПОЛОЖЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ И УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ ЛАЗЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСТАНОВОК 265
А.В. Татосов ПРОТЕКАНИЕ НЕСМЕШИВАЮЩИХСЯ ЖИДКОСТЕЙ ПО СИСТЕМЕ КАПИЛЛЯРОВ 269
А.Х. Хайруллин, Е.В. Зубков, Д.И. Мочалов ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ИСПЫТАНИЙ ДИЗЕЛЕЙ ПРИ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗКАХ НА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОМ ПРЕДПРИЯТИИ 274
Хо Вьет Хынг ВЛИЯНИЕ МАСЛА НА ТЕПЛООТДАЧУ ПРИ КИПЕНИИ СМЕСЕВОГО ХЛАДАГЕНТА R410A НА РАЗВИТЫХ ПОВЕРХНОСТЯХ 278
Хоанг Ван Кует МЕТОД КОНТРОЛЯ ЛОГИЧЕСКИХ ВЫВОДОВ В СЕМАНТИЧЕСКИХ БАЗАХ ДАННЫХ 281
А.Н. Цуриков СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ АДРЕСНОГО ОПОВЕЩЕНИЯ О ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ ПРИ ПОМОЩИ SMS-СООБЩЕНИЙ 287
Н.В. Шопперт, С.Ф. Катышев, Е.А. Никоненко, М.П. Колесникова О ПОЛУЧЕНИИ ПИГМЕНТОВ ИЗ СПЕКАТЕЛЬНОГО ШЛАМА БОГОСЛОВСКОГО АЛЮМИНИЕВОГО ЗАВОДА 292

АННОТАЦИИ 296

THE RELEASE MAINTENANCE

V.K. Polovnyak, L.N. Khafizova, O.V. Nesterov, S.S. Ksembaev THE NATURE OF ADHESION BIOCOMPATIBILITY SORBENT "CELOFORM" TO THE WOUND SURFACE 11

PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES

Dinh Tien Dzung PROMISING SCHEMES ENERGY GAS TURBINE POWER PLANTS, BASED ON AIRCRAFT ENGINE 14
V.V. Druzhinin THE METHOD OF QUADRATIC IDENTITY WHEN SOLVING DIOPHANTINE EQUATIONS 19
S.A. Kostareva, A.A. Museev THE BEAM GEOMETRICAL PARAMETERS IDENTIFICATION BASED ON THE INVERSE PROBLEMS SOLVING 24
D.G. Lazarenko, G.E. Lazarenko, P.I. Prudnikov, I.I. Andrushin DEVELOPMENT OF THE THERMIONIC ENERGY CONVERSION TECHNOLOGY BASED ON THE PLASMA-DROP MEDIUM 28
V.M. Leonov ANALISYS OF MATERIAL SHAPING WITH NON-LINEAR DISTRIBUTION OF FEATURES 31
A.G. Pozdeev, J.A. Kuznetsova MODEL OF FLUID WITH VANISHING VISCOSITY 35
A.G. Pozdeev, J.A. Kuznetsova MECHANISM OF TWO-DIMENSIONAL FLOW SEPARATION 40
V.V. Tregulov, V.A. Stepanov, G.N. Scoptsova LIGHT SCATTERING IN ANTIREFLECTION COATINGS PHOTOELECTRIC SOLAR ENERGY CONVERTERS BASED ON SILICON 46

CHEMICAL SCIENSEC

A.P. Bayunov, S.N. Smaryguin HUMIDITY AND ITS AFFECTION ON THE ERROR OF MIXED FODDER NIR-ANALYSIS 50
A.R. Gataoulline, S.A. Bogdanova, L.Ya. Zakharova, Yu.G. Galyametdinov CARBON NANOTUBES DISAGREGATION IN NONIONIC SURFACTANT SOLUTIONS 57
I.G. Ryltsova, R.N. Saenko, O.E. Lebedeva CRYSTALLIZATION PROCESS OF COBALT-CONTAINING LAYERED DOUBLE HYDROXIDES 63
A.A. Hasanov, V.A. Efimov TO THE METHODOLOGY OF CALCULATION OF MOLAR MASS DISTRIBUTION OF POLYMERS 67

ENGINEERING SCIENCE

G.V. Abakumov, M.S. Danilchenko, A.N. Makarova AUTOMOBILE TIRES RESOURCE STANDARDS CORRECTION, WITH FACTORS ESTIMATED BY QUALITATIVE ATTRIBUTES TAKEN INTO CONSIDERATION 71
R.I. Adgamov, S.V. Dmitriev, T.N. Karimov, A.H. Khairullin MATHEMATICAL MODEL OF PERFORMANCE AUTOMATIC MACHINERY MNOGONAMENKLATURNOGO PROIZVODSTVAV WITH INTERACTIONS OF INTRINSIC FACTOR 75
A.V. Aminarov, A.S. Andreev, A.N. Kulikova ON MOTION CONTROL OF ELASTIC BODY IN THE VISCOUS MEDIUM 79
A.S. Andreev, V.V. Blagodatnov, A.R. Kilmetova VOLTERRA EQUATIONS ON MODELLING OF PI- AND PID-REGULATORS 84
V.V. Andreev, K.G. Petrov, N.P. Tarasova, V.A. Chirkov THE FORMATION OF THE ONTOLOGICAL AND PRACTICAL IDEAS OF THE STUDENTS IN THE PRACTICE OF TEACHING 91

A.O. Artemova, G.A. Shepelev ON THE VECTOR LYAPUNOV FUNCTIONAL METHOD IN MECHANICAL SYSTEMS CONTROL 95
A.S. Bagdasarov, D.A. Urusov THE ANALYSIS AND PROPOSALS EFFICIENT METHODS OF PRODUCTION OF BUILDING PRODUCTS FROM PHOSPHOGYPSUM OAO "NEVINNOMYSSK AZOT" 100
F.D. Bairamov, B.F. Bairamov, A.R. Fardeev AUTOMATIC SYSTEMS OF REGULATION OF FLOW RATE IN THE HYDRAULIC SYSTEMS WITH THE COMBINED ENERGY 104
N.L. Belskaya, P.A. Saveliev AUTOMATIC MANAGEMENT'S SYSTEM OF THE MONITORING OF THE SCIENTIFIC RESEARCH IN THE ACTIVITY OF THE INSTITUTE 109
A.P. Buinosov, K.A. Statsenko, E.V. Bgan, Y.A. Mishin RESEARCH OF THE REASONS OF DAMAGE OF BEARINGS OF TRACTIVE ENGINES OF ELECTRIC LOCOMOTIVES 113
A.P. Buinosov, K.A. Statsenko, E.V. Bgan, E.A. Guzenkova, Y.A. Mishin RELIABILITY AUGMENTATION OF ROLLER BEARINGS OF TRACTIVE ENGINES OF ELECTRIC LOCOMOTIVES OF THE DIRECT CURRENT 117
A.P. Buinosov, K.A. Statsenko, E.V. Bgan, Y.A. Mishin DEVELOPMENT OF THE METHOD OF WARNING MOUNTING ZADIROV OF ANCHOR BEARINGS OF TRACTIVE ELECTROMOTORS OF ELECTRIC LOCOMOTIVES 121
A.P. Buinosov, A.M. Kislitsyn SKELETON DIAGRAM OF AUTOMATED SYSTEM OF MEASUREMENT OF WHEEL COUPLES OF LOCOMOTIVES 125
A.P. Buinosov, D.Y. Kozakov THE ANALYSIS OF THE REASONS OF PREMATURE FAILURE OF STORAGE BATTERIES ON ELECTRIC TRAINS 128
S.N. Bulikov, M.V. Lysanova, V.D. Sukhov THE UNIFIED LINE REPRESENTATION OF PRODUCTION IN CONSTRUCTION 131
S.N. Bulikov, M.V. Lysanova, V.D. Sukhov THE BASIC PROBLEMS OF DEFINITION AND APPLICATION CALENDAR PARAMETERS OF CONSTRUCTION 135
A.N. Bushuyev, E.A. Praslova GAS PISTON AND GAS-TURBINE SYSTEM IN THE CASE OF INDIVIDUAL POWER SUPPLY OF ELECTRIC STEEL PRODUCTION 139
R.A. Valiev, T.N. Karimov, R.K. Sibgatullin, A.H. Khairullin MULTICRITERIA PROBLEM OF PLANNING TRANSPORTATION FUEL DELIVERY AND ENERGY COMPANY NETWORK STATIONS 143
S.S. Valkova, A.V. Stepanets, V.E. Veryutina THE FORMATION OF COMPLEX OF TASKS ON A MANAGEMENT BY CARGO HANDLING OF RAILWAY WAGONS IN A SEAPORT 146
M.I. Glushko, E.V. Fedorov CONTROL OF BREAK PIPE OVERLAPPING IN THE TRAIN 151
A.O. Golubeva METHODOLOGY TO EVALUATE THE EFFECTIVENESS OF THE MECHANISM ADAPTATION PROCESSES OF THE ORGANIZATION IN AN AUTOMATED MANAGE SYSTEM 155
S.A. Gusarov THE CHOICE OF THE MAIN THERMODYNAMIC PARAMETERS OF COMBINED GAS TURBINE POWER UNIT BASED ON THE AVIATION GTE TB7-117C 159
S.V. Dmitriev, T.N. Karimov, A.H. Khairullin CONSTRUCTION OF THE UNIFIED SOFTWARE AND INFORMATION SUPPORT AUTOMATED LOGISTICS TRANSPORT SYSTEM AND CONFIGURATION TOOLS 163
S.V. Dmitriev, V.B. Khlyupin MATHEMATICAL MODEL OF CALCULATION PRODUCTS COMBUSTION DIESEL ENGINE WITH INJECTION OF WATER INTO THE AIR INTAKE PIPELINE 166

S.V. Dmitriev, V.B. Khlyupin REFINEMENT MATHEMATICAL MODEL OF CALCULATION PRODUCTS COMBUSTION DIESEL ENGINE WITH INJECTION OF WATER INTO THE AIR INTAKE PIPELINE 170
V.I. Zubkova, S.F. Korenkova, N.I. Malyavski NATURAL AND TECHNOGENIC NANORAW MATERIALS IN PRODUCTION OF THE MIXED BINDERS 174
A.V. Ivanov, A.S. Pahomov X-RAY MICROANALYSIS OF SOLDERED JOINTS OF TIN-LEAD BGA COMPONENTS ASSEMBLED BY TIN-LEAD SOLDER 177
T.N. Ivanova, P.A. Korobeinikov IMPACT LUBRICATING EFFECT COOLANT ON THE DIAMOND MACHINING OF PARTS FROM HARD MATERIALS 182
A.M. Ignatova, V.L. Popov, B.J. Antonov, M.N. Ignatov STRUCTURAL CHARACTERIZATION EXPERIMENTAL INDUSTRIAL SMALL SIZED ELECTRIC ARC FURNACE FOR MELTING PETRURGICAL RAW 185
A.M. Ignatova, O.U. Sheshukov, M.N. Ignatov RECYCLING OF THIS DOMAIN SLAG WITH FOUNDRY MODULE FOR SITES PLANTS SLAG METALLURGICAL COMPLEX 190
A.S. Kalitvin, V.A. Kalitvin MATHEMATICAL MODELLING BY INTEGRO-DIFFERENTIAL EQUATIONS WITH OPERATORS OF ROMANOVSRIJ AND BARBASHIN 198
A.S. Kalitvin, V.A. Kalitvin ON MATHEMATICAL MODEL OF MULTIPLY CONNECTED MARKOV CHAIN 202
Yu.P. Kirin, V.V. Kiryanov HEURISTIC METHODS OF IMPROVEMENT OF VACUUM SEPARATION OF THE SPONGY TITAN 206
Yu.P. Kirin, V.V. Kiryanov, L.A. Schepin MATHEMATICAL METHODS OF IMPROVEMENT OF VACUUM SEPARATION OF THE SPONGY TITAN 209
M.A. Kislyakov, S.G. Mosin APPLICATION OF PEANO CURVES FOR CLUSTERING OF SENSOR NETWORK TOPOLOGY 213
E.A. Kudashova, E.E. Zvyaginceva ON THE MECHANICAL SYSTEMS CONTROL WITH CYCLIC COORDINATES 217
L.P. Lagodina PROPERTIES OF WEIGT COEFFICIENTS IN POLIKOORDINATNYH MAPS 222
R.I. Nasyrov TARGET FUNCTION IN THE DEVELOPMENT OF ESTIMATION AND PROGNOSTICATION PROGRAM OF DATA STORAGE SYSTEMS RELIABILITY IN ENTERPRISES MANAGEMENT SYSTEMS 226
O.A. Novoselov STRUCTURE CLASSIFICATION OF TRANSPORT-TECHNOLOGICAL SYSTEMS IN OIL AND GAS COMPLEX 230
A.A. Orlov PROCEDURE OF THE EFFICIENCY GAIN AND ACCURACY OF TURNING AUTOMATIC OPERATIONS ON THE BASIS OF MANAGEMENT IN TECHNOLOGICAL PARAMETERS 234
S.A. Pashkevich, A.P. Pustovgar, A.D. Vedenin, P.A. Grebenshchikov THERMAL INSULATION FIBRECOMPOSITES DURABILITY 237
V.L. Popov, B.Y. Antonov, A.M. Ignatova EVOLUTION AND STRUCTURAL-CHARACTERIZATION OF MODERN INDUSTRIAL ELECTRIC FURNACE FOR MELTING PETRURGICAL RAW 240
N.N. Prokopenko, V.G. Manzhula MICROELECTRONIC DIFFERENTIAL AMPLIFIER FOR SENSORS WITH HIGH OUTPUT IMPEDANCE 245
T.V. Prokhorova FEATURES AND PROSPECTS OF WIND POWER DEVELOPMENT IN THE URBAN ENVIRONMENT 249
A.P. Pustovgar, A.D. Vedenin THERMAL INSULATION NANOCOMPOSITES BASED ON SILICA AEROGEL 252
V.Ya. Svintsov, E.N. Shmatova, M.S. Khlystunov, R.V. Mukanov ELECTROSTATIC DISPERSION OF LIQUID FUELS IN RELATION TO BOILER PLANTS 255

V.S. Simankov, E.S. Tarasov, S.A. Shilov THE HIERARCHICAL SYSTEM OF SITUATION CENTERS BUILDING CONCEPT AS A DECISION-MAKING SUPPORT AND ADAPTIVE MANAGEMENT PLATFORM 259
V.V. Slepsov, A.M. Vasilyev, M.A. Kostromin, A.P. Rezko THE ANALYSIS OF TECHNICAL CHARACTERISTICS AND SYNTHESIS OF CONTOURS OF POSITION OF INFORMATION-MEASURING AND OPERATING SYSTEMS OF LASER TECHNOLOGICAL INSTALLATIONS 265
A.V. Tatosov THE FLOW OF IMMISCIBLE LIQUIDS SOFTWARE SYSTEM OF CAPILLARIES 269
A.H. Hairullin, E.V. Zubkov, D.I. Mochalov SIMULATION OF TECHNOLOGICAL PROCESSES OF THE AUTOMATED TESTS OF DIESELS AT DYNAMIC LOADINGS AT MACHINE-BUILDING ENTERPRISE 274
Ho Viet Hung BOILING OF OZONE-FRIENDLY REFRIGERANT R410A IN FLOODED EVAPORATOR 278
Hoang Van Quyet CONTROL INFERENCE IN SEMANTIC DATABASES 281
A.N. Tsurikov IMPROVEMENT OF SELECTIVE ALERTING TECHNOLOGY ABOUT EMERGENCY SITUATION ON BASIS OF SMS-MESSAGES 287
N.V. Shoppert, S.F. Katyshev, E.A. Nikonenko, M.P. Kolesnikova ON RECEIPT OF THE PIGMENTS OF SINTERING MUDS BOGOSLOVSK ALUMINIUM SMELTER 292

ABSTRACTS 296

В.К. Половняк, Л.Н. Хафизова, О.В. Нестеров, С.С. Ксембаев

Казанский национальный исследовательский университет
Казанский государственный медицинский университет

ПРИРОДА АДГЕЗИИ БИОСОВМЕСТИМОГО СОРБЕНТА «ЦЕЛОФОРМ» К РАНЕВЫМ ПОВЕРХНОСТЯМ

Рассмотрен механизм адгезии нового биосорбента целоформа по отношению к раневым поверхностям. Дана количественная оценка величины адгезии.

Ключевые слова: *Целоформ, адгезия, механизм адгезии.*

В список средств, применяемых при местном лечении ран, входит группа медицинских сорбентов, обеспечивающих активное очищающее воздействие на рану. Разработка методов местного лечения ран с их использованием привела к развитию целого направления, получившего название сорбционно-апликационной терапии. При этом используемые медицинские сорбенты должны отвечать определенным требованиям: высоким уровнем сорбционной способности, обеспечивать хороший отток жидкостей из раны и достаточно хорошую адгезию к раневой поверхности [1].

Набором этих необходимых свойств обладает разработанный нами сорбент «Целоформ» [6] из целлюлозы хлопковой - вещество белого цвета, порошкообразной мягкой консистенции, гигроскопичное, с размером волокон 20-50 мкм.

Основные данные сравнительного изучения «Целоформа» представлены в табл.1.

Таблица 1.

Некоторые характеристики сорбентов

Основные параметры	Наименование сорбентов		
	Гелецел	Целлосорб	Целоформ
Сорбционная способность по воде (макс.), г/г	120±3	40±2	14,8±0,2
Сорбционная способность по крови (макс.) г/г	30±4	15±0,5	25,5±0,3
Скорость смачивания: по воде по крови	 10 сек 3 часа	 3 часа 24 часа	 10 сек 3 сек

Целоформ выгодно отличается от других сорбентов хорошей сорбционной ёмкостью к биологическим жидкостям (кровь), биологической инертностью по отношению к тканям организма и хорошей адгезией к раневым поверхностям.

На основе биосорбента «Целоформ» нами разработана целая серия защитных повязок при проведении операций на слизистых оболочках, в частности на слизистых оболочках полости рта [4].

В публикациях по использованию «Целоформа» в медицине [5] было показано, что при нанесении на раневую поверхность «Целоформ» образует «активную хирургическую повязку», через которую не проникают микроорганизмы. Для уже существующих бактерий создаются неблагоприятные условия из-за гидрофильных свойств сорбента. При этом сохраняется газообмен и питание поврежденных тканей, создаются благоприятные условия для нейтрофилов и макрофагов, уничтожающих микробов. «Целоформ» обладает длительным адсорбирующим действием, не вызывает побочных реакций в виде раздражений и непереносимости, имеет хорошие дезодорирующие свойства.

Оставалась без объяснения природа высокой адгезии «Целоформа» к раневым поверхностям. Именно этот вопрос рассмотрен в данном исследовании.

Нами было показано, что биологическая активность «Целоформа» связана с технологией получения этого сорбента [3,6].

Макромолекула целлюлозы может содержать 2-3 тысячи звеньев, достигая молекулярной массы до 700.000, при этом длина макромолекулы составляет 1,5 мкм, при толщине всего 0,5 нм. Поэтому увидеть макромолекулу целлюлозы даже с помощью электронного микроскопа не удается. Существование большого числа разновидностей целлюлоз, отличающихся степенью полимеризации, объясняется сравнительной легкостью разрыва макромолекул ее на более мелкие фрагменты. В результате такого разрыва макромолекул, на их концевых участках могут образовываться свободно-радикальные фрагменты R^* с концевыми атомами кислорода или углерода (- 0* и – C*). Эти концевые атомы связаны с фрагментом β-глюкозы и остальной частью макромолекулы целлюлозы (рис. 1).

Рис. 1. Фрагменты макромолекулы целлюлозы

При взаимодействии с раневыми поверхностями свободно-радикальные фрагменты могут встраиваться в мембрану клетки с образованием ковалентных связей, а также взаимодействовать с белковыми структурами раневой поверхности. При этом наиболее эффективно взаимодействие по типу хемосорбции с макромолекулами коллагена.

Коллаген [2] выполняет множество функций в организме человека. Он защищает ткани от механических повреждений. Такая защитная функция возможна благодаря прочному строению волокон коллагена. Коллаген участвует во взаимодействии на межклеточном и межтканевом уровне. Коллаген поддерживает активную жизнедеятельность слоя эпидермиса. Но главная задача коллагена – восстановительная функция - в случае повреждения участка кожи или мышцы, принимать участие в скорейшем восстановлении и обновлении клеток. Как видим, роль этого белка весьма велика. У многоклеточных организмов большинство клеток окружено вне- или межклеточным матриксом. Межклеточный матрикс - сложный комплекс, связанных между собой макромолекул. Эти макромолекулы (белки и гетерополисахариды), как правило, секретируются самими клетками, а в межклеточном матриксе из них строится упорядоченная сеть. Межклеточный матрикс, окружающий клетки, влияет на их прикрепление, развитие, пролиферацию, организацию и метаболизм.

Межклеточный матрикс вместе с клетками разного типа, которые в нём находятся (фибробласты, хондро- и остеобласты, тучные клетки и макрофаги), называют соединительной тканью.

Коллаген, как основной белок соединительной ткани, входит в состав хрящей, сухожилий, связок, костей, кожи, стенок сосудов, хрусталика глаза, и других органов и обеспечивает прочность их тканей. То есть основная функция коллагена - структурная. Наш организм на 60% состоит из воды, белок занимает 20%, из которого 1/3 отведена именно коллагену.

Углеводные компоненты коллагена (рис.2) химически близки к аналогичным фрагментам целлюлозы (см. выше):

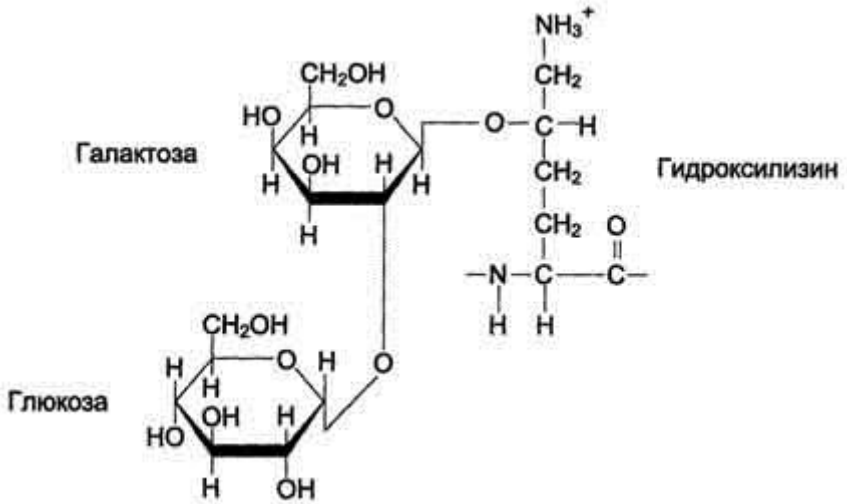


Рис.1. Углеводные компоненты коллагена.

Взаимодействие глюкозных фрагментов «Целоформа» и коллагена, на наш взгляд, и обеспечивает достаточно высокую адгезию сорбента к раневой поверхности.

На простом эксперименте нами оценена адгезия «Целоформа» к модельной раневой поверхности, роль которой исполняли срезы куриных окорочков.

Оборудование: Электронный цифровой динамометр «QC-PASSED» (0-1000г.) с подвеской, филе курицы, лейкопластырь, порошок «Целоформа».

Ход работы: Фиксируем филе к столу, освобождаем от кожи. Насыпаем на него порошок «Целоформа», покрываем лейкопластырем, выдерживаем 10 мин. Закрепляем динамометр к лейкопластырю, медленно тянем и фиксируем максимальную силу воздействия, при котором нарушается сцепление.

Результаты:

Площадь поверхности, обработанная порошком =2,5х1,5 см.

Среднее показание динамометра (из трёх параллельных) = 110г.

Вычисляем силу сцепления: Вес/площадь 110/3,75=29,3 г/см^2.

Адгезия =29,3 г/см^2.

Такая адгезия обеспечивает хорошее фиксирование и удержание апликационной повязки на поверхности ран слизистых оболочек после хирургических вмешательств.

Таким образом, природа адгезии «Целоформа» к раневой поверхности заключается в химической близости глюкозных фрагментов сорбента и коллагена, что подтверждено экспериментальным исследованием, позволившим установить высокий уровень адгезии сорбента.

Список литературы

1. *Адамян А.А., Лизанец М.Н., Добыш С.В. и др.* Результаты лабораторного исследования порошкообразных медицинских сорбентов и перспективы их использования в хирургии /Вестник хирургии им. Грекова. – 1991.- №7-8. С. 37-41.
2. Биохимия: Учебник для вузов, Под ред. Е.С. Северина., 2003. 779 с.
3. *Ениколопов Е.С.* Твердофазные химические реакции и новые технологии //Успехи химии. 1991. Т.60, №3. С.586-594.
4. *Ксембаев С.С., Нестеров О.В., Половняк В.К.* Сорбционно-апликационная терапия – перспективное направление в стоматологии /III Российская научно-практическая конф. «Здоровье человека в XXI веке».- Казань.-2011, С.188-192.
5. *Ксембаев С.С., Нестеров О.В., Половняк В.К. и др.* Перспективы развития сорбционно-апликационной терапии в стоматологии / Stomatologiya.-2011, №3-4.- С.14-17
6. *Половняк В.К., Ксембаев С.С., Вавилов Ю.Г.* Экологичный биосорбент на основе хлопковой целлюлозы / Научно-технический вестник Поволжья .-2011, № 3.- С. 7-16.

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

01.04.14

Динь Тьен Зунг

Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет) «МАИ»,
Москва, dungdt83@gmail.com

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ СХЕМЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ГТУ НА БАЗЕ АВИАЦИОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Рассматриваются различные схемы газотурбинных энергетических установок, создаваемых на базе авиационных двигателей, которые позволяют получить существенное повышение энергетической эффективности энергоустановки. Показано, что применение одновременно впрыска воды в проточную часть компрессора с «влажной» регенерацией тепла выхлопных газов является одной из наиболее перспективных схем ГТУ, позволяющей получить значительное повышение электрического КПД при одновременном улучшении экологических характеристик установки.

Ключевые слова: *газотурбинная энергетическая установка (ГТУ), впрыск воды в компрессор, регенерация, электрический КПД.*

В настоящее время в электроэнергетической отрасли происходит интенсивное внедрение газотурбинных технологий. Это позволяет проводить политику децентрализации энергоснабжения, приближая энергопроизводителей к потребителям, существенно снижая потери тепловой и электрической энергии при ее транспортировке. Поскольку значительная часть современных магистральных и распределительных сетей в настоящее время в большинстве регионов давно выработала свой ресурс и находится в предаварийном состоянии, то реализация концепции "распределенного" энергоснабжения, обеспечивает не только ощутимую экономию топлива и энергии, но и существенно повышает надежность энергоснабжения в регионе.

Применение для решения этой задачи газотурбинных установок, создаваемых на базе авиационных ГТД имеет как достоинства, так и недостатки. К достоинствам следует отнести высокий уровень совершенства авиационных ГТД, их малые массу и размеры, высокий уровень автономности, что делает их очень перспективными в классе мощности от нескольких мегаватт до 25…30. Быстро возводимая модульная конструкция, делает их незаменимыми в чрезвычайных ситуациях. Однако наиболее очевидным их недостатком является достаточно невысокий уровень КПД - 0,25…0,36. В связи с этим большую актуальность приобретает поиск оптимальных схем энергоустановок с ГТУ, имеющих максимально возможный КПД и высокую удельную мощность на единицу расхода рабочего тела.

Технически наиболее просто решаются вопросы повышения тепловой эффективности имеющихся конверсионных ГТУ путем организации тепловых схем с утилизацией тепла выхлопных газов ГТУ для подогрева сетевой воды (рис.1). Практическая реализация такого рода схем не связана с необходимостью изменения параметров газотурбинного цикла. В этом случае можно говорить о комбинированном производстве (когенерации) электрической и тепловой энергии с целью повышения коэффициента использования тепла топлива (КИТ), который в таких энергоустановках может достигать 0,85…0,95.

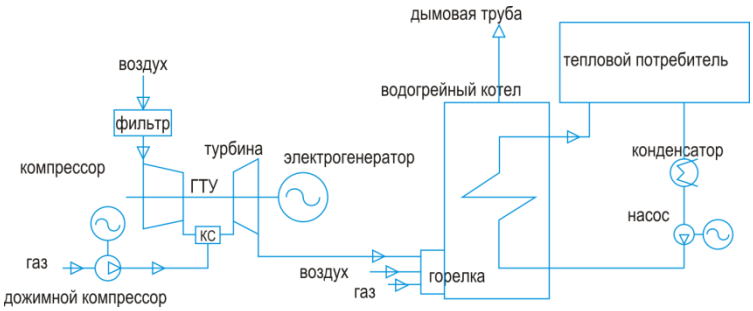


Рис. 1- Типовая схема ГТУ с утилизацией тепла выхлопных газов для подогрева сетевой воды

Например, у ГТУ-6П, он достигает уровня 0,912.

Надстройка котельных газотурбинными установками является одним из наиболее дешевых и эффективных методов производства электроэнергии на тепловом потреблении, а возможность независимого регулирования электрической и тепловой нагрузок выгодно отличает её от традиционных паротурбинных блоков ТЭЦ. Однако все схемы энергетических ГТУ с когенерацией электрической и тепловой энергии выгодны в северных регионах мира, где велика потребность в тепловой энергии. Для теплых южных регионов такой путь вряд ли можно считать перспективным.

Традиционный путь повышения электрического КПД: дополнение газотурбинного цикла паротурбинным, работающим на пару, получаемом в теплообменнике в выхлопной системе ГТУ (рис.2) имеет очевидный недостаток – газотурбинная электростанция перестает быть компактной, быстро возводимой модульной конструкцией. Этот путь, очевидно, имеет преимущество для мощных стационарных электростанций, создаваемых не на базе авиационных ГТД.

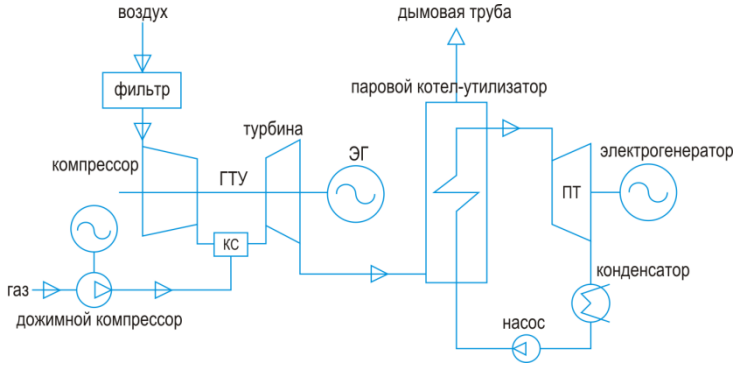


Рис. 2- Дополнение газотурбинного цикла паротурбинным

В связи с этим предлагается множество схем ГТУ с газопаровыми циклами с повышенными удельной мощностью и тепловой экономичностью ($\eta_{эл.}$) производства электроэнергии на всех возможных режимах их работы, в которых в качестве одного из компонент рабочего тела газодинамического тракта установки в явном виде присутствует вода или водяной пар. Наиболее часто рассматриваются:

- циклы с инжекцией пара в тракт высокого давления (типа STIG) как с влажным сжатием, так и без него [2]
- циклы с "влажным" сжатием в компрессоре (впрыск воды в компрессор) [3];
- циклы с "влажным" сжатием в компрессоре и регенерацией; впрыск воды возможен также и за компрессором.

Цикл типа STIG достаточно хорошо изучен (рис.3). Известны энергоустановки с газотурбинными двигателями, имеющие контур утилизации тепла с впрыском пара в тракт высокого давления (в камеру сгорания и проточную часть турбины). Они широко эксплуатируются за рубежом. При этом ввод пара в камеру сгорания и турбину обеспечивает

подавление образования окислов азота, а также эффективное охлаждение теплонапряженных элементов камеры сгорания и лопаточного аппарата турбины, если в нем применяется охлаждение паровоздушной смесью. Поскольку расход пара через ГТУ составляет значительную часть рабочего тела (10÷30%), его впрыск приводит к повышению удельной мощности ГТУ и её тепловой экономичности.

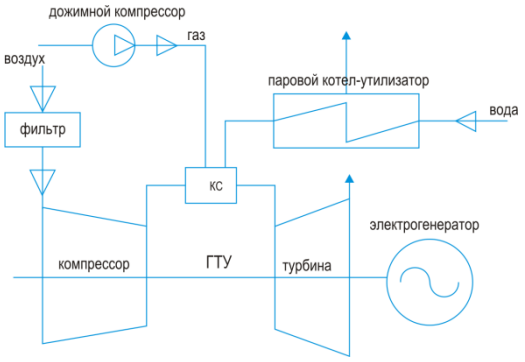


Рис. 3- Схема ГТУ по схеме STIG

Еще более перспективным вариантом ГТУ с инжекцией пара в КС является схема с одновременным применением инжекции пара в камеру сгорания и влажного сжатия в компрессоре (см. рис.4).

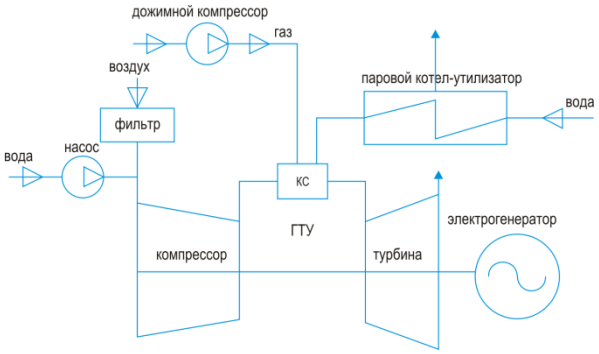


Рис. 4- ГТУ с впрыском в компрессор и инжекцией пара в камеру сгорания

Анализ структуры генерируемой мощности показывает, что значительная часть её (до 70%) расходуется на привод компрессора. Причем с повышением температуры окружающей среды, так же как и при работе на частичных режимах, эта доля возрастает. С целью снижения мощности компрессора обычно используется промежуточное охлаждение воздуха в компрессоре, что для компактных конверсируемых машин авиационного типа достаточно проблематично. Для снижения относительного энергопотребления компрессора и форсирования мощности конверсионных ГТУ целесообразно использовать впрыск воды на вход в компрессор или в его проточную часть, поскольку впрыск воды (с последующим испарением) приближает процесс сжатия в компрессоре к изотермическому. При этом полезный эффект определяется снижением температуры сжимаемого воздуха и, следовательно, уменьшением работы сжатия. Возникающие при этом потери (разгон капель, торможение каплями рабочего колеса, движение водяной пленки и т.д.) наиболее ощутимы в первых ступенях компрессора, а затем быстро убывают. Испарительное охлаждение приводит к уменьшению объёмного расхода воздуха в ступенях, что приводит к смещению рабочих характеристик компрессора в сторону больших степеней повышения давления и увеличения расхода. Снижение потребляемой мощности из-за испарительного охлаждения воздуха, как правило, превалирует над дополнительными потерями от влажности, что приводит к росту эффективного КПД компрессора.

Рост напорности компрессора с впрыском воды в его проточную часть даст возможность (без снижения устойчивости работы ГТУ) выполнять и другие мероприятия по повышению эффективности установки: ввод воды и пара в контур высокого давления; замену воздушного

охлаждения паровоздушным (или паровым) с целью повышения температуры газа перед турбиной; организацию цикла с регенерацией или утилизацией тепла уходящих газов ГТУ в газопаровом цикле и т.п.

Если же использовать регенерацию тепла выхлопных газов, то тепловая эффективность газотурбинной установки может быть существенно повышена за счет подогрева сжатого компрессором воздуха перед камерой сгорания.

Для конверсионных машин малой мощности традиционный подход к регенерации тепла бесперспективен, поскольку совокупность параметров цикла практически сводит на нет целесообразность регенерации (рис.5), так как в авиационных двигателях температура воздуха после компрессора имеет достаточно высокое значение [1]. В этой связи перспективные циклы ГТУ с регенерацией, создаваемых на базе авиационных двигателей, следует рассматривать только в сочетании с впрыском воды в компрессор и после компрессора, что не только снижает мощность компрессора, но и дает возможность повысить степень регенерации за счет снижения температуры паровоздушной смеси на входе в регенератор. В то же время, часть воздуха, идущая на охлаждение высокотемпературных узлов двигателя и имеющая меньшую температуру за счет влажного сжатия, дает возможность поднять начальную температуру цикла без повышения температур этих узлов, что (при фиксированной температуре выхлопных газов) приводит к заметному росту КПД и увеличению удельной мощности двигателя. Заметим, что к повышению удельной мощности приводит и увеличение расхода рабочего тела за счет впрыскиваемой воды.

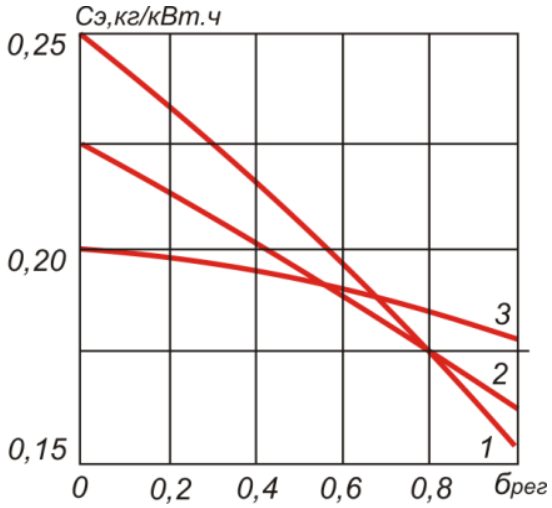


Рис. 5- Изменение удельного расхода топлива в зависимости от степени регенерации ($\sigma_{рег}$) и степени повышения давления в компрессоре (1 – $\pi^*_к$ = 8, 2 - $\pi^*_к$ = 12, 3 - $\pi^*_к$ = 20)

Для оценки эффективности цикла ГТУ с впрыском воды в компрессор и влажной регенерацией тепла была разработана математическая модель расчета параметров компрессора при впрыске воды в его проточную часть.

Расчеты проводились для ГТУ на базе вертолетного двигателя ГТД-350.

Основные результаты расчетов приведены в таблице 1.

Таблица 1

Наименование параметров	Размер-ность	Схемы ГТУ			
		ГТУ простой схемы	ГТУ с регенерацией без впрыска в компрессор	ГТУ с регенерацией и впрыском в компрессор	ГТУ с регенерацией и впрыском в и после компрессора
Расход топлива	кг/сек нм3/сек	0,038 0,0531	0,023 0,0322	0,02426 0,0339	0,02646 0,037
Расход паровоздушной смеси после силовой турбины	кг/сек	2,238	2,22	2,26	2,4233
Температура после силовой турбины	^{0} С	587	586	584	606
Температура за компрессором	^{0} С	257	257	207	207
Температура газа после регенератора	^{0}С	-	302	256	117
Температура воздуха после регенератора	^{0}С	-	551	549	571
Впрыск воды в компрессор	кг/кг.с. возд.	-	-	0,02	0,02
Впрыск воды после компрессора	кг/кг.с. возд.	-	-	-	0,07
Мощность на валу	кВт	324	322	352	490
КПД на валу	%%	17,01	27,91	28,96	37
Удельная мощность на валу	кВт/кг	147	146	160	223

Как видно из таблицы КПД ГТУ на базе ГТД-350 по простой схеме составляет на валу всего 17%, что хорошо согласуется с паспортными данными двигателя, подтвержденными опытом его эксплуатации. КПД ГТУ с простой регенерацией находится на уровне 28%, одновременный впрыск воды в компрессор при относительном расходе воды 2% от расхода воздуха поднимает КПД до 29 %, а впрыск воды после компрессора с относительным расходом от 7 до 9% – увеличивает КПД до 35,7÷36,8 %. Максимальный КПД для ГТУ на базе ГТД-350 имеет место в схеме с впрыском воды в компрессор при относительном расходе воды 2% и после компрессора (7 %) при одновременной регенерации тепла, при этом η = 37 %, а величина удельной мощности Nуд (при отнесении к расходу воздуха) составляет 223 кДж/кг (против 147 кДж/кг для простой схемы). Таким образом, при работе по схеме ГТУ с "влажным" сжатием и регенерацией тепла КПД и Nуд энергоустановки малой мощности на базе ГТД-350 могут быть в принципе увеличены соответственно в ~2,1 и 1,4 раза.

Список литературы

1. Теория и расчет воздушно-реактивных двигателей / Под ред. С.М. Шляхтенко: Учебник для вузов – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1987г. -568с.: ил.
2. Теория и проектирование газотурбинных и комбинированных установок: Учебник для вузов / Ю.С. Елисеев, Э.А. Манушин, В.Е. Михальцев и др. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000г. – 640с.
3. Впрыск воды в компрессор ГТУ / А. Л. Беркович, В. Г. Полищук, В. А. Рассохин; под ред. А.Л. Берковича. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2010г. – 151 с.

01.01.06

В.В. Дружинин д.ф.-м.н.

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,
Саровский физико-технический институт,
кафедра высшей математики,
Нижегородская обл., г. Саров, vvdr@newmail.ru

МЕТОД КВАДРАТИЧНОГО ТОЖДЕСТВА ПРИ РЕШЕНИИ ДИОФАНТОВЫХ УРАВНЕНИЙ

Предложен новый метод решения диофантовых уравнений, приведены новые результаты, отмеченные символом (Н), найдены бесконечные цепочки пифагоровых чисел, коротким расчетом доказан частный случай великой теоремы Ферма и даны ее обобщения.

Ключевые слова: *диофантово уравнение, пифагоровы числа, великая терема Ферма.*

1.В данной статье предлагается метод решения диофантовых уравнений (корни – целые числа) с двумя, тремя и более переменными при помощи квадратичного тождества (КТ)

$$4\alpha^2\beta^2 + (\alpha^2 - \beta^2)^2 = (\alpha^2 + \beta^2)^2, \tag{1}$$

которое справедливо при любых α и β принадлежащих плоскости комплексного переменного $\mathbb{C}$, т. е. эти числа могут быть мнимыми, действительными, целыми, рациональными или иррациональными. Сформулируем следующую теорему: любая тройка чисел $\{x;\ y;\ z\} \in \mathbb{C}$, связанных соотношением

$$x^m + y^n = z^k, \tag{2}$$

где $\{m;\ n;\ k\} \in \mathbb{C}$ (необходимо и достаточно) может быть выражена через α и β:

$$\alpha^2 = \frac{x^m}{2(\sqrt{x^m+y^n}-\sqrt{y^n})}; \quad \beta^2 = \frac{\sqrt{x^m+y^n}-\sqrt{y^n}}{2}. \tag{3}$$

Необходимость проверяется прямой подстановкой в

$$x^m = 4\,\alpha^2\beta^2; \quad y^n = (\alpha^2 - \beta^2)^2; \quad z^k = (\alpha^2 + \beta^2)^2. \tag{4}$$

Достаточность определяется тождеством (1). При этом, если даже $\{x;\ y;\ z\}$ целые или натуральные числа, параметры α и β могут быть дробными, иррациональными или комплексными величинами.

В теории чисел КТ используется [1 - 4] для нахождения $\{x;\ y;\ z\} \in \mathbb{N}$, образующих пифагорову тройку (ПТ) $x^2 + y^2 = z^2$, состоящую из натуральных чисел. Мы постараемся расширить область применения КТ.

2. Вначале остановимся на ПТ. Пусть $x = 2\alpha\beta$; $y = |\alpha^2 - \beta^2|$; $z = (\alpha^2 + \beta^2)$. Одно из натуральных чисел α или β четное, другое нечетное. Обычно мы будем считать четным α. Если α и β числа взаимно простые, т. е. $(\alpha, \beta) = 1$, x – четное число, y и z – числа нечетные, получаем примитивную ПТ, $(x, y, z) = 1$. Пример (П.). $\alpha = 2,\ \beta = 1 \Rightarrow x = 4,\ y = 3,\ z = 5.$

Отметим такие связки в КТ: если $|\alpha - \beta| = \gamma$, то

$$y = |x + \gamma^2 - 2\alpha^2|,\ z = x + \gamma^2. \tag{5}$$

Равенства (3-5) дают внутреннюю структуру {x; y; z}, заранее определяют их принадлежность к нужному классу чисел (натуральные или целые), обеспечивают равенство (2), и тем самым решают данное диофантово уравнение.

3. Покажем, что возможны не только пифагоровы тройки, но также четверки, пятерки и вообще (Н) любое число чисел, связанных соотношением

$$y_1^2 + \sum_{k=1}^{N} x_k^2 = z_N^2\,, \tag{6}$$

причем $x_k = x_{k-1}(x_{k-1}+2)/2$, $z_N = (x_N + 1)$. Действительно, пусть есть первая ПТ $x_1^2 + y_1^2 = z_1^2$. Считая $z_1 = y_2 = (\alpha_2^2 - \beta_2^2) = (\alpha_2 - \beta_2)(\alpha_2 + \beta_2)$ и полагая $\alpha_2 - \beta_2 = 1$, находим $\beta_2 = (z_1 - 1)/2$, $\alpha_2 = (z_1 + 1)/2$. Поскольку $z_2 = x_2 + 1$ во втором и последующих звеньях, новое слагаемое определяется равенством

$$x_2 = 2\alpha_2\beta_2 = \frac{x_1(x_1+2)}{2}. \tag{7}$$

П. $3^2 + 4^2 + 12^2 + 84^2 + 3612^2 + (6526884)^2 + (21300113901612)^2 = (21300113901613)^2$.

Если взять изначально другую ПТ или потребовать $\alpha_k - \beta_k = \delta$, если z_{k-1} кратно δ, можно получить другие соотношения между x_k. Пусть в указанном выше примере при $z_3 = 85$ берется $\delta = 5$. Тогда $x_5 = 132$ и сумма первых пяти слагаемых $z_5^2 = (157)^2$. В теории чисел существуют доказанные пифагоровы цепочки только из пяти квадратов слева [3]. Есть также теорема Гурвица для суммы трех квадратов. В нашем подходе такие цепочки неограничены.

4. КТ позволяет работать с любыми тройками чисел и с любыми их степенями. Оно позволяет решать, например, и линейные диофантовы уравнения (Н), которые обычно решаются довольно громоздким методом цепных дробей. Рассмотрим эту методику на примерах.

Пусть 2x − 3y = 1. По (3) имеем $\beta^2 = \left(1 - i\sqrt{3y}\right)/2$. Взяв y = −3, получим $\beta^2 = 1$. Из условия $1 = z = (\alpha^2 + \beta^2)^2$ находим $\alpha^2 = -1$. Так как (2x) = 4 $\alpha^2\beta^2$ =−8, находим x = − 4.

В качестве второго примера решим квадратичное диофантово уравнение с двумя переменными $7x^2 - 3y^2 = 1$. $\beta^2 = \left(1 - iy\sqrt{3}\right)/2$, что приводит к сравнению $(y^2 - 2) \equiv (0)$ mod(7). Решая его, находим y = 3, x = 2.

5. КТ позволяет обобщить пифагорову тройку на равенства вида $Ax^n + y^2 = z^2$, где A и n > 1 натуральные произвольные числа (Н). Взяв

$$\alpha = \sqrt{A} \cdot 2^{(n-2)/2}\alpha_1^{n/2}, \tag{8}$$

получаем из условия $Ax^n = 4\alpha^2\beta^2$, $x = 2\alpha_1\beta^{2/n}$, $y = |A \cdot 2^{n-2} \cdot \alpha_1^n - \beta^2|$, z = $A \cdot 2^{n-2} \cdot \alpha_1^n + \beta^2$. Полученные натуральные числа удовлетворяют исходному равенству. П. $3x^5 + y^2 = z^2$; $\alpha_1 = 2$; $\alpha = 16\sqrt{3}$; $\beta = 1$; $x = 4$; $y = (3 \cdot 2^8 - 1) = 767$; $z = 769$.

5. Покажем далее, что обобщение пифагоровых троек также может иметь вид

$$x^2 + y^n = z^2, \tag{9}$$

где n любое нечетное число большее 1 (Н). Так как $y^n = (\alpha^2 - \beta^2)^2 = (\alpha - \beta)^2(\alpha + \beta)^2$, то, взяв $\alpha = \beta + 1$, получаем уравнение $y^n = (1 + 2\beta)^2$, из которого находим целые значения по формулам

$$\beta = \frac{y^{n/2} - 1}{2}, \qquad \alpha = \frac{y^{n/2} + 1}{2}, \tag{10}$$

После этого по (4) определяем x и z = x + 1. П. $x^2 + y^5 = z^2$; $y^5 = 9^5 = 59049$; $\beta = 121$; $\alpha = 122$; $x = 29524$; $z = 29525$.

6. Уравнение в целых числах

$$x^n + y^n = z^{n+1} \tag{11}$$

возможно, если $x = \alpha^{n+1/n} + \alpha^{1/n}\beta, y = \beta^{n+1/n} + \beta^{1/n}\alpha$, но при этом x и y не взаимно просты. П. n = 5, $\alpha = 32,\ \beta = 1, x = 66,\ y = 33,\ z = 33$. В [1] показан вариант получения взаимно простой тройки таких чисел при n = 2.

7. Задача о заданном соотношении x и y = x + δ, где δ – натуральное число в ПТ

$$x^2 + (x + \delta)^2 = z^2 \tag{11}$$

с использованием КТ требует решения уравнения $(2\alpha\beta + \delta) = (\alpha^2 - \beta^2)$. Оно приводит к соотношению

$$\alpha = \beta + \sqrt{2\beta^2 + \delta}. \tag{13}$$

П.1. $\delta = 1,\ 2\beta^2 + 1 = 9,\ \beta = 2,\ \alpha = 5,\ x = 20,\ y = 21,\ z = 29$.

П. 2. $\delta = 7,\ 2\beta^2 + 7 = 9,\ \beta = 1,\ \alpha = 4,\ x = 8,\ y = 15,\ z = 17$.

В [1] мы нашли рассмотрение этой задачи только для $\delta = 1$, причем несколько более громоздким способом.

8. Рассмотрим уравнение $x^2 + y^4 = z^2$. Пусть $\alpha > \beta$ и β – нечетное число, а $\alpha -$ четное. $y^2 = (\alpha^2 - \beta^2) = (\alpha - \beta)(\alpha + \beta)$. Взяв $\alpha = \beta + \delta$, получаем уравнение $y^2 = \delta(\delta + 2\beta)$ или $2\beta\delta = (y - \delta)(y + \delta)$, где δ положительное нечетное число. Правая часть делится на 4, а левая – только на 2, что запрещает решение уравнения в целых числах.

Если же нечетное число $\beta > \alpha$, то $y^2 = (\beta^2 - \alpha^2) = (\beta - \alpha)(\alpha + \beta), \beta = \alpha + \delta$, $y^2 = \delta(\delta + 2\alpha), 2\alpha\delta = (y - \delta)(y + \delta)$ и исследуемое уравнение может, хотя и не обязательно, решаться в целых числах.

Если и α, и β – оба нечетные то решение уравнения также возможно.

Таким образом, решение исследуемого уравнении зависит от внутренней структуры x = $2\alpha\beta$. П. 1. $x = 24 = 2 \cdot 4 \cdot 3, \alpha = 4 > \beta = 3$, $y^4 = (16 - 9)^2 = 7^2$, и уравнение $24^2 + y^4 = z^2 -$ в целых числах не решается. 2. $x = 40 = 2 \cdot 4 \cdot 5$, $\alpha = 4 < \beta = 5$, $y^4 = (25 - 14)^2 = 3^4$, и уравнение $40^2 + 3^4 = 41^2 -$ решено в целых числах. П. 3. $x = 30 = 2 \cdot 5 \cdot 3, \alpha = 5 > \beta = 3$, $y^4 = 16^2$, и уравнение $30^2 + 4^4 = 34^2 -$ решено в целых четных числах.

9. Уравнение $(x^2 - \delta^2)^2 + (y^2 - \delta^2)^2 = (z^2 - \delta^2)^2$ по методу КТ приводится к системе уравнений: $(\alpha^2 - \beta^2) = (y - \delta)(y + \delta)$; $(\alpha^2 + \beta^2) = (z - \delta)(z + \delta)$; $(2\alpha\beta) = (x - \delta)(x + \delta)$. Например, при $\delta = 1$, $\alpha = 7\sqrt{3}$, $\beta = 4\sqrt{3}$ находим x = 13, y = 10, z = 14, тот же результат, что и в [1].

10. У диофантова уравнения $x^2 + (x + 1) = 3z^2$ интересная история. В 1950 г. считалось, что оно имеет только одно решение: $x = z = 1$. Вскоре нашлось другое решение $x = 313$, $z = 181$. Серпинский [1] доказал, что решений бесконечное количество и дал формулу решения. Этот же результат, но с другими промежуточными формулами дает наш поход. Отметим, что обязательно $x = 3k + 1$. После этой подстановки уравнение принимает вид $3k^2 + 3k + 1 = z^2$. Далее возникает система уравнений $3k + 1 = 4\alpha^2\beta^2, 3k^2 = (\alpha^2 - \beta^2)^2$. Отсюда число $k_{n+1} = 7k_n + 4\sqrt{3k_n^2 + 3k_n + 1} + 3$ – дает целые корни уравнения для z и находится из рекуррентного соотношения. Часть решений этой задачи (k, x, z) имеет вид $(-1, -2,1), (0, 1,1), (7, 22,13), (104, 313,181)$.

Этот результат также разрешает тройку натуральных чисел вида $x^2 + y^3 = z^3$. Тут $y = k, z = (k + 1)$, $x = \sqrt{3k^2 + 3k + 1}$. Значения $k_{n+1} = 7k_n + 4\sqrt{3k_n^2 + 3k_n + 1} + 3$, как и в предыдущем примере, дают целые корни данного уравнения. Часть решений имеет вид $(k; x;\ y;\ z)$: $(7; 13;\ 7; 8), (104,181; 104; 105), (1455; 2521;\ 1455; 1456)$

11. Рассмотрим тройку $x^2 + y^2 = z^{12}$. Если задать $\alpha = n(n^2 - 3m^2), \beta = m(3n^2 - m^2)$, где n и m натуральные взаимно простые числа, сумма квадратов которых дает квадрат, то указанное уравнение решается.

При этом z = $\sqrt{m^2 + n^2}$. П. n = 4, m = 3, $3^2 + 4^2 = 5^2$, $\alpha = 44$, $\beta = 117$, $x = 10296, y = 11753$, $z = 5$.

12. Рассмотрим уравнения $a^p + b^p = 2c^p$, где $a < b$ нечетные взаимно простые числа, p > 1 – нечетное число. Для p = 3 в [1] (стр.63) доказано, что имеется одно решение a = b= c, т. е. при четном c решения в целых числах нет. Для более высоких степеней p такого доказательства или утверждения мы не нашли в литературе. Проверка для p = 5 и 7 показала аналогичное утверждение. Поэтому запишем наш подход в общем случае.

Так как a < c < b, то из $(c^p - a^p) = (b^p - c^p)$ следует, что $(c - a) > (b - c)$, т.е. 2c > $(b + a)$. С другой стороны, если мы к обеим частям уравнения $a^p + b^p = 2c^p$прибавим D = $\sum_{k=1}^{p-1} C_p^{p-k} a^{p-k} b^k$, то получаем равенство

$$(a + b)^p = (c^p + D + c^p). \tag{14}$$

Его правая часть, если D = $(2^p - 2)c^p$, равна $(2c)^p$, что дает $a + b = 2c$. Это противоречит неравенству 2c > $(b + a)$. Выход из противоречия лежит в утверждении, что для любого нечетного p > 1 в $a^p + b^p = 2c^p$ имеется одно решение a = b= c, а при четных c решение в целых числах отсутствует.

13. Как известно, гипотеза «Великая теорема Ферма» звучит так: если x – четное, а y и z нечетные, (попарно простые) натуральные числа, то уравнение $x^n + y^n = z^n$ при натуральном n ≥ 3 не имеет решения. Эта теорема доказана Эндрю Уайлсом в 1995 г. с помощью эллиптических функций. Доказательство заняло 108 страниц формата А4, и оно признано правильным современной математикой. Сам Э. Ферма на полях книги Диофанта «Арифметика» записал эту гипотезу и посетовал, что немного не хватает места дать доказательство. Значит, есть какой-то очень короткий путь решения задачи. При этом сам Ферма доказал свою гипотезу лишь для n = 4.

КТ позволяет доказать гипотезу Ферма коротким путем. Рассмотрим $x^p + y^p = z^p$. Из (3) зададим четное $\alpha^2 = 2^{p-2+pk} t_1^{pk_1} = 2^{p-2}\left(2^k t_1^{k_1}\right)^p \equiv 2^{p-2} t_3^p$, нечетное $\beta^2 = t_2^{pk_2}$, где $\{k, k_1, k_2, t_1, t_2\}$ натуральные числа, а $(t_1, t_2) = 1$ и оба нечетные. При этом $x^p = 4\alpha^2\beta^2$ и x = $2^{1+k} t_1^{k_1} t_2^{k_2}$ – целое число. Далее рассмотрим связки $y^p = (\alpha^2 - \beta^2)^2$ и $z^p = (\beta^2 + \alpha^2)^2$. Так как все входящие в равенства числа целые, то $y = y_1^2, z = z_1^2$, и

$$(\alpha^2 - \beta^2) = y_1^p,\ (\beta^2 + \alpha^2) = z_1^p \tag{15}$$

при $\beta^2 < \alpha^2$. Здесь y_1 и z_1 – натуральные нечетные числа. Складывая равенства в (15), получаем $y_1^p + z_1^p = 2\beta^2$. Так как все три числа нечетные (пункт 12), то решение $y_1^p = z_1^p = \beta^2$ приводит к x = 0, что не удовлетворяет начальным условиям гипотезы Ферма.

Далее рассмотрим это же уравнение, но при соотношении $\alpha^2 > \beta^2$. В этом случае $(\alpha^2 - \beta^2) = y_1^p$; $(\beta^2 + \alpha^2) = z_1^p$, $2\alpha^2 = 2^{p-1+pk} t_1^{pk_1} = y_1^p + z_1^p$. Это уравнение вообще не имеет решения в целых числах, так как слева стоит четное число α^2 (см. пункт 12).

Таким образом, мы, по-видимому, доказали гипотезу Ферма для нечетных степеней.

Автор благодарит д. ф. м. н. Н.А. Попова, д. ф. м. н. А.И. Голубева, ст. н. сотр. Р. Кудрякова, участников научного семинара за детальный анализ работы и ценные замечания.

Список литературы

1. *Серпинский В.*О решении уравнений в целых числах. – М., ГИФМЛ, 1961.
2. *Гельфонд А.О.* Решение уравнений в целых числах. – М., ГРФМЛ, 1978.
3. *Сизый С.В.* Лекции по теории чисел. – М., ФИЗМАТЛИТ, 2007.
4. *Виноградов И.М.* Основы теории чисел. – М., Наука, 1981.

01.02.04

С.А. Костарева, А.А. Мусеев

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
факультет прикладной математики и механики,
кафедра динамики и прочности машин,
Пермь, a.a.museev@gmail.com

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СТЕРЖНЯ НА ОСНОВЕ РЕШЕНИЯ ОБРАТНЫХ ЗАДАЧ

В статье рассмотрена задача идентификации геометрических характеристик консольно-закрепленного стержня на основе решения обратных задач. Обратная задача восстановления площади поперечного сечения стержня решена методом регуляризации Тихонова. В качестве дополнительной информации о решении выступает амплитудно-частотная характеристика стержня, измеренная в некоторых точках исследуемого объекта.

Ключевые слова: *стержень, обратная задача, идентификация, линеаризация, уравнение Фредгольма 1-го рода, регуляризация Тихонова.*

Расчетно-экспериментальное исследование прочности и надежности многих элементов конструкций, как правило, связано с необходимостью решения обратных задач – определения их упругих или геометрических характеристик по заданному комплексу измерений. В результате решения обратных задач происходит уточнение физико-механических параметров рассматриваемой конструкции, которые закладываются в математическую модель и входят в нее в качестве коэффициентов уравнений. Задачи подобного класса являются коэффициентными обратными задачами. Их также называют задачами распознавания или диагностики в зависимости от специфики области применения [2].

В данной работе рассмотрена задача восстановления функции площади поперечного сечения консольно-закрепленного упругого стержня по известной дополнительной информации о решении. В стержне возбуждаются продольные колебания при помощи гармонической силы, приложенной к свободному торцу стержня $P(t) = P \cdot \sin(\omega t)$, где ω – частота вынужденных колебаний.

Будем полагать, что модуль упругости E и плотность ρ постоянны. Тогда, полагая, что смещение в стержне $U(x,t) = u(x) \cdot \sin(\omega t)$, получим краевую задачу, описывающую форму установившихся колебаний неоднородного стержня [2]:

$$\begin{cases} E \cdot \dfrac{d}{dx}\left(F(x) \dfrac{du(x)}{dx} \right) + \rho \cdot F(x) \cdot \omega^2 \cdot u(x) = 0, \\ u(0) = 0, \quad F(L) \cdot \left. \dfrac{du(x)}{dx} \right|_{x=L} = -\dfrac{P}{E}. \end{cases} \tag{1}$$

Предположим, что имеется дополнительная информация о смещении свободного конца стержня, которая зависит от частоты возмущающей силы и определяется экспериментальным путем:

$$u(L) = f(\omega), \quad \omega \in [\omega_1, \omega_2]. \tag{2}$$

В рамках метода линеаризации [3], площадь поперечного сечения представима в виде:

$$F(x) = F_0 + F_1(x), \quad \text{причем } \max \frac{|F_1(x)|}{F_0} << 1, \tag{3}$$

$$\frac{F(x)}{F_0} = 1 + \varepsilon \cdot \eta(x), \tag{4}$$

где ε – малый параметр.

Решение ищем в виде разложения по степеням ε:

$$u(x) = u_0(x) + \varepsilon \cdot u_1(x) + O(\varepsilon^2). \tag{5}$$

Приравнивая члены при одинаковых степенях ε, приходим к необходимости решения двух краевых задач - нулевого и первого приближения.

Решение краевой задачи нулевого приближения имеет вид:

$$u_0(x) = -\frac{P}{k \cdot \cos(kL)} \cdot \sin(kx), \tag{6}$$

где

$$P_* = \frac{P}{EF_0}, \tag{7}$$

$$k^2 = \frac{\rho \cdot \omega^2}{E}. \tag{8}$$

Решение краевой задачи первого приближения:

$$u_1(x) = \frac{P_* \cdot \eta(L)}{k \cdot \cos(kL)} \cdot \sin(kx) - \frac{\sin(kx)}{k \cdot \cos(kL)} \cdot \int_0^L \cos(kz - kL) \cdot g(z) dz - \frac{1}{k} \cdot \int_0^x \sin(kz - kL) \cdot g(z) dz, \tag{9}$$

где

$$g(x) = -k^2 \cdot \eta(x) \cdot u_0(x) - \frac{d}{dx}\left(\eta(x) \frac{du_0(x)}{dx}\right). \tag{10}$$

Общее решение краевой задачи об определении площади поперечного сечения стержня:

$$u(x) = \frac{P_* \cdot (\eta(L) - 1)}{k \cdot \cos(kL)} \cdot \sin(kx) - \frac{\sin(kx)}{k \cdot \cos(kL)} \cdot \int_0^L \cos(kz - kL) \cdot g(z) dz - \frac{1}{k} \cdot \int_0^x \sin(kz - kL) \cdot g(z) dz \tag{11}$$

С учетом дополнительной информации вида (2), получим интегральное уравнение Фредгольма 1-го рода, решая которое определим функцию площади поперечного сечения *η(z)*:

$$\int_0^L \eta(z) \cdot \cos(2kz) \cdot dz = \frac{f(\omega)}{P_*} \cos^2(kL) + \frac{\sin(2kL)}{2 \cdot k}, \quad k \in [k_1, k_2], \tag{12}$$

Для последующего анализа качества решения зададимся точной формой поперечного сечения и решим прямую задачу о продольных колебаниях консольно-закрепленного стержня переменного поперечного сечения, определив смещения свободного торца стержня. Положим изменение площади поперечного сечения по линейному закону:

$$F(x) = F_0 \cdot \left(2 - \frac{x}{L}\right), \tag{13}$$

где F_0 – площадь поперечного сечения на свободном конце стержня.

Несколько видоизменим краевую задачу, описывающую форму установившихся колебаний неоднородного стержня (1):

$$\begin{cases} \frac{d}{dx}\left(E \cdot F(x) \frac{du(x)}{dx}\right) + m(x) \cdot \omega^2 \cdot u(x) = P_0 \cdot \delta(x - L), \\ u(0) = 0, \\ \left.\frac{du(x)}{dx}\right|_{x=L} = 0 \end{cases} \tag{14}$$

где $m(x) = \rho \cdot F(x)$ – масса на единицу длины, $\delta(x - L)$ – дельта функция.

Методом Бубнова-Галеркина [5] были получены амплитудные значения смещений свободного торца стержня, при следующих числовых значениях: длина стержня $L = 1$ м, площадь поперечного сечения на свободном конце стержня $-F_0 = 0.0001$ м^2, модуль упругости $E = 2 \cdot 10^5$ МПа, плотность $\rho = 7800$ кг/м^3, частота возмущающей силы $\omega \in [2000, \quad 3000]$ Гц, амплитуда возмущающей силы – $P = 1 \cdot 10^3$ Н.

К полученным значениям смещений добавлены ошибки $\delta_1=10^{-2}$, $\delta_2=10^{-3}$, $\delta_3=10^{-4}$, моделирующие погрешность измерений.

Поскольку уравнение Фредгольма 1-го рода представляет собой некорректно поставленную задачу, и в силу того, что входные параметры, а именно значения смещений свободного конца, определены с некоторой погрешностью, стандартные методы решения не приводят к качественному и устойчивому решению уравнения. В этом случае необходимо воспользоваться регуляризирующими алгоритмами, например, методом регуляризации Тихонова [2, 4].

В соответствии с данным методом для интегрального уравнения Фредгольма 1-го рода в виде

$$Au = \int_a^b K(x,s)u(s)ds = f(x), \quad x \in [c,d] \tag{15}$$

вводится сглаживающий функционал:

$$M^{\alpha}[u] = \| Au - f \|^2 + \alpha \| u \|^2 = \int_c^d \left(\int_a^b K(x,s)u(s)ds - f(x) \right)^2 dx + \alpha \int_a^b \left[u^2(s) + (u'(s))^2 \right] ds, \tag{16}$$

где α >0 – параметр регуляризации.

Минимизация функционала (16) приводит к устойчивому решению, зависящему от параметра регуляризации α. Способы построения итерационных алгоритмов для отыскания α приведены в литературе [4].

Результат решения интегрального уравнения Фредгольма 1-го рода (12), определяющий площадь поперечного сечения консольно-закрепленного стержня по дополнительной информации о смещении свободного торца стержня, полученной при решении краевой задачи (14), представлен на рис. 1. Решение приведено для различных вносимых в правую часть ошибок $\delta_1=10^{-2}$, $\delta_2=10^{-3}$, $\delta_3=10^{-4}$.

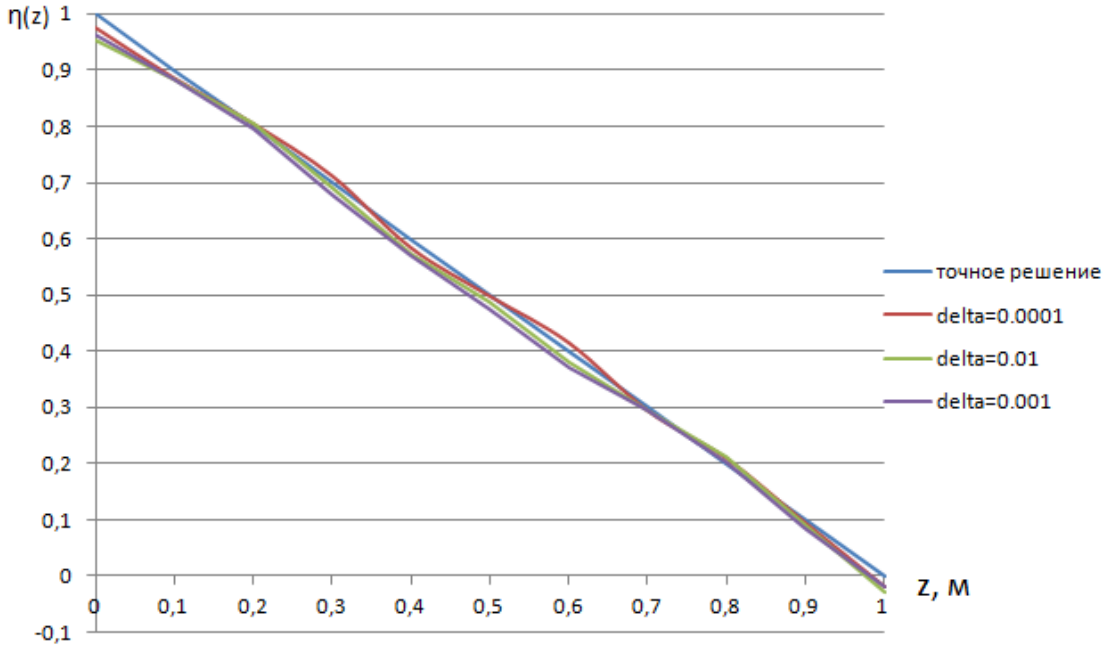


Рис.1 – Решение интегрального уравнения Фредгольма 1-го рода

При реконструкции искомой функции в частотных диапазонах, находящихся между 1-ой и 2-ой резонансными частотами, максимальная погрешность не превышает 5%.

Таким образом, решена задача реконструкции формы поперечного сечения по заданным значениям смещения свободного торца консольно-закрепленного стержня при внесенной ошибке, моделирующей погрешность измерений. На практике подобная задача имеет место при идентификации трещин и дефектов механических конструкций.

Список литературы

1. *Бабаков И.М.* Теория колебаний. М.: Наука, 1968. - 560 с.
2. *Ватульян А.О.* Обратные задачи в механике деформируемого твердого тела. – М.: ФИЗМАЛИТ, 2007. – 224 с.
3. *Денисов А.М.* Введение в теорию обратных задач. М.: Изд-во МГУ, 1994. – 208 с.
4. *Самарский А.А., Вабишевич П.Н.* Численные методы решения обратных задач математической физики. – М.: Едиториал УРСС, 2004. – 480 с.
5. *Тимошенко С.П.* Колебания в инженерном деле. М.: Наука, 1967. – 444 с.

01.04.01

Д.Г. Лазаренко, Г.Э. Лазаренко, П.И. Прудников, И.И. Андрюшин

Обнинский институт атомной энергетики –
филиал ФГАОУ ВПО Национальный исследовательский ядерный университет "МИФИ",
г. Обнинск, dglazarenko@mephi.ru

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ТЕРМОЭМИССИОННОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ НА ОСНОВЕ КАПЕЛЬНО-ПЛАЗМЕННОЙ РАБОЧЕЙ СРЕДЫ

Разработана теория генерации заряженных капель цезия в низкотемпературной цезиевой плазме с целью получения оптимальных параметров и состава рабочей среды термоэмиссионного преобразователя. Выполнено математическое моделирование динамических процессов в цезиевой капельно-плазменной среде. Разработана теория метода сепарации потока плазменной среды для создания высокоэффективного термоэмиссионного преобразователя.

Ключевые слова: *прямое преобразование энергии, термоэмиссия, капельно-плазменная среда, математическое моделирование.*

Существующие термоэмиссионные преобразователи работают при высоких температурах, требующих применения тугоплавких материалов и обеспечения вакуумной гигиены. Проведенные в ГНЦ РФ-ФЭИ им. А.И. Лейпунского лабораторные исследования рабочего процесса в низкотемпературном термоэмиссионном преобразователе с динамической подачей паров цезия показали возможность увеличения электродного к.п.д. преобразователя до 20-25% при снижении температуры эмиттера до ~1100°С [1]. Было высказано несколько альтернативных гипотез о природе явления - образование конденсата высоковозбужденных состояний атомов цезия или модификация свойств межэлектродной среды на скачках уплотнения парового потока цезия (возбуждение атомов цезия) и образование легкоионизируемых кластеров из атомов цезия в перенасыщенном паре при участии наноструктурированной углеродной поверхности коллектора. В обоих случаях имеет место капельно-плазменная рабочая среда, представляющая собой ионизированный пар цезия со взвешенными в нем заряженными каплями. Наличие нескольких альтернативных гипотез свидетельствует об отсутствии состоятельной физической модели явления.

В настоящее время широко исследуются условия получения, строения и свойств пространственно упорядоченных пылевых структур (плазменный кристалл, плазменная жидкость), а также разрабатываются способы управления ими [2]. Характерной особенностью подобных структур является их электронейтральность – объемный заряд облака электронов компенсируется положительно заряженными пылинками.

В термоэмиссионных преобразователях одной из наиболее значимых проблем является нейтрализация заряда электронного облака в межэлектродном зазоре, препятствующего протеканию тока. В экспериментах, выполненных в условиях дросселирования насыщенного пара цезия в межэлектродный зазор, отмечалось значительное увеличение эффективности преобразования [3]. Одним из возможных объяснений наблюдаемого эффекта является формирование плазменно-капельной структуры, аналогичной плазменнопылевому кристаллу, в которой роль заряженных пылинок выполняют капли конденсата цезия. Особенностью капель цезия является их самозарядка как следствие термоэмиссии электронов с их поверхности. Поскольку потенциал ионизации цезия 3,89 эВ, а работа выхода – всего лишь 1,81 эВ, формируется уникально низкотемпературная плазмоподобная проводящая среда. До настоящего времени характеристики и свойства плазменнокапельных структур детально не исследовались. Тем не менее, расчетные методики, ранее полученные для расчета характеристик пространственно упорядоченных пылевых структур, могут быть

модифицированы для решения сформулированных выше задач. Проведенные исследования были направлены на описание процессов формирования капельноплазменной рабочей среды, описание силового взаимодействия между заряженными каплями и средой, описание динамических структур. Для этого были проведены следующие работы:

- аналитическое исследование факторов, влияющих на получение, строение и свойства капельноплазменной рабочей среды;
- разработка расчетного кода для решения кинетических уравнений переноса электронов и ионов в низкотемпературной плазме с учетом их взаимодействия с капельноплазменной рабочей средой;
- разработка и обоснование математической модели капельноплазменной рабочей среды;
- моделирование процессов получения, строения и свойств капельноплазменной рабочей среды с использованием современных программных комплексов.

Ценность выполненных исследований состоит в том, что появилась возможность технической реализации высокоэффективного термоэмиссионного процесса во внутриреакторных преобразователях микро - и мини-АЭС прямого преобразования с установленной мощностью до 10 МВт [4]. Это стало возможным в результате разработанного технического решения, заключающегося в организации микроциркуляции цезия непосредственно в межэлектродном зазоре термоэмиссионного преобразователя [5]. Сущность его состоит в том, что обеспечивается неравномерность поля температуры на поверхности коллектора, в результате чего непосредственно на нем происходит испарение и конденсация цезия с переносом потока пара по межэлектродному зазору и конденсата по капиллярно-пористой структуре (во встречном направлении), размещенной под рабочей поверхностью коллектора. Насыщенный пар цезия, истекающий через малые отверстия, становится перенасыщенным, в результате чего формируются кластеры, перерастающие в капли расплава субмикронных размеров.

Капели цезия в плазме ведут себя как сверхтяжелые ионы с низкой средней скоростью перемещения. Как показали расчеты по развитой модели одиночной капли за время ее жизни около десятка микросекунд капля успевает «потерять» за счет термоэмиссии порядка 100 электронов и приобрести заряд около 1 В, причем по мере накопления заряда скорость зарядки замедляется, процесс носит ярко выраженный нелинейный характер. В результате формируется капельно-плазменная рабочая среда, объемный заряд капель цезия в которой нейтрализует объемный заряд электронного облака, что обеспечивает свободное протекание электрического тока между электродами. Рассматриваемый метод формирования объемного компенсационного заряда не ограничен требованиями по парциальному давлению нейтральной компоненты пара цезия, и в принципе оно может быть сделано в ходе свободного расширения паровой среды весьма низким. Вместе с тем, при низких давлениях пара цезия в межэлектродном зазоре процессы рассеяния электронов на нейтральных атомах цезия снижаются, соответственно снижаются омические потери в плазме и увеличивается эффективность термоэмиссионного плазменного преобразователя. Дуговые потери в межэлектродном зазоре составляют величину около 0,4 В, и их исключение за счет перехода к квазивакуумному режиму работы существенно повышает эффективность термоэмиссионного преобразователя. Таким образом, по некоторые характеристики термоэмиссионного преобразователя с цезиевой рабочей средой могут смещаться в сторону величин, характерных для вакуумного преобразователя с сохранением свойственных для преобразователей с цезиевой рабочей средой больших плотностей термоэмиссионного тока.

Описание формирования капельноплазменной рабочей среды затруднено тем, что это многофакторный нестационарный процесс. Уравнения, описывающие термодинамические и газодинамические характеристики его протекания, дополняются электрофизическими зависимостями. Поэтому для анализа привлекались различные модели – от модели одиночной неподвижной капли до модели с течением потока насыщенного пара. Целью работ было выявление параметров, определяющих конечные свойства капельноплазменной рабочей среды. В частности, выявлена возможность влияния на конечные размеры капель

цезия воздействуя на скорость расширения потока насыщенного пара. Дополнительная возможность заключается в использовании смеси пара цезия с тяжелым инертным газом (криптон, ксенон) с малым сечением рассеяния электронов, введение которого снижает скорость диффузии атомов цезия и «замораживает» кластеры цезия в малых размерах.

Разница в массах заряженных компонент капельно-плазменной рабочей среды позволяет сравнительно легко воздействовать непосредственно на одну из компонент, и тем самым выделять для анализа связанные с именно с ней закономерности. Так, электронная компонента очень чувствительна к электромагнитному излучению и статическим магнитным полям, что позволяет в принципе осуществить разделение компонент пропусканием потока плазмы через устройство типа магнитной ловушки.

Исследование выполнено при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, соглашение 14.A18.21.0153; Российского фонда фундаментальных исследований, грант № 12-02-97535.

Список литературы

1. *Ярыгин В.И.* Экспериментальные исследования свойств возбуждённых состояний цезия (Ридберговской материи) в межэлектродной среде низкотемпературного термоэмиссионного преобразователя тепловой энергии в электрическую // Наука о кластерах (Journal of Cluster Science. Special issue: Rydberg-Matter and Excited-State Clusters). 2012. С. 77-93.
2. *В.Е. Фортов, Депутатова Л.В., Рыков В.А.* и др. Самоорганизация пылевых частиц в плазме пучка протонов // Прикладная физика. 2009. №1. С.46-52
3. *Ярыгин В.И., Агафонов В.Р., Касиков И.И.* и др. Исследование процессов активации в термоэмиссионном преобразователе с динамической подачей цезия в межэлектродный зазор // Труды регионального конкурса научных проектов в области естественных наук. Вып. 13. Калуга: АНО КНЦ, 2009. С. 135–139.
4. *Лазаренко Г.Э., Ярыгин В.И.* и др. Автономная термоэмиссионная ядерная энергетическая установка для морских газо- и нефтедобывающих платформ // Известия вузов. Ядерная энергетика. №3. 2011. С.3–9.
5. *Лазаренко Г.Э., Лазаренко Д.Г., Ярыгин В.И.* Термоэмиссионный преобразователь. Патент РФ №2390872, рег. 27.05.2010, заявка на изобретение № 2009114500 от 16.04.2009.

01.02.04

В.М. Леонов к.т.н.

ФГБОУ Тульский государственный университет,
Горно-строительный факультет, кафедра ССМиК,
Тула, BasilLeonov@Gmail.com

АНАЛИЗ ФОРМОИЗМЕНЕНИЯ МАТЕРИАЛА С НЕЛИНЕЙНЫМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ХАРАКТЕРИСТИК

В работе представлен анализ аспектов моделирования обработки материалов на примере цилиндрических заготовок, без осевой симметрии, а также взаимосвязанные особенности изменения характеристик материала в пространстве и времени.

Ключевые слова*: обработка материалов, повышение характеристик материала, цилиндрические оболочки, оболочки без осевой симметрии, структурные изменения.*

Обработка многокомпонентных материалов тесно связана с моделированием нелинейного распределения характеристик материала, а также расположением армирующих элементов. Одновременно делаются допущения относительно формы включений, массовой доли, характера их размещения, и более серьезные предположения относительно бесконечности рассматриваемых сред и несжимаемости отдельных ее фрагментов [1]. Вышеупомянутые аспекты свидетельствуют о достаточно сложном пространственно-временном распределении параметров напряженно-деформированного состояния материала при внешнем воздействии.

Построение схемы дискретизации изначально изотропной металлической основы является реализуемой задачей при использовании соотношений, приведенных в работах Трещева А.А. [2, 3]. Что в свою очередь позволяет более детально и целостно описать характеристики заготовки на макроуровне.

В разработанной модели (реализующая программа Tetra Compound v.1.1, свидетельство № 2013610558) расчет напряженно-деформированного состояния производится посредством последовательного приближения в ходе двухшаговой процедуры и последующего поиска уточненного решения на j–ом шаге нагружения для внутреннего цикла в пределах единичного элемента и уточнения на внешнем вычислительном цикле в пределах заготовки в целом (рисунок 1, 2).

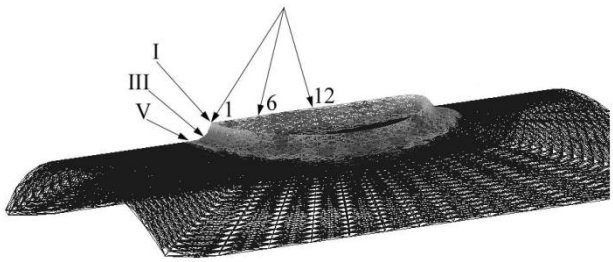


Рисунок 1. Рассматриваемые опорные сегменты в зонах наибольшей интенсивности формоизменения материала.

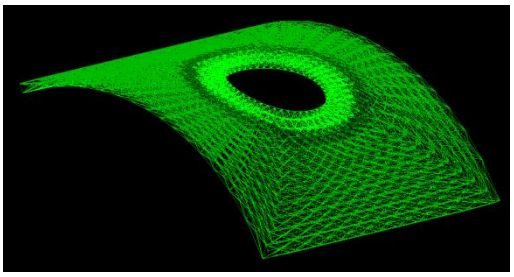


Рисунок 2. Расчетная конечно-элементная схема неосесимметричной заготовки (15 мкс)

Результирующее формоизменение каждого из элементов предопределено всей предшествующей траекторией нагружения, и откликом близлежащих элементов на импульс внешнего воздействия. Как видно из рисунков 2-4 наибольшая интенсивность деформаций отмечается не вблизи края бокового отверстия (в ходе операции отбортовки), а при некотором смещении от края (для первых 15 мкс деформирования при магнитно-импульсной обработке). Это, в свою очередь, обусловлено поворотом относительно исходного состояния материальных волокон, их деформацией и воздействием со стороны окружающих слоев.

Если рассматривать единичный элемент в осевом сечении заготовки (рисунок 1, 5), то можно отметить цикличность в распространении упругих деформаций, а при более детальном изучении групп элементов можно отметить некоторое взаимное пространственно-временное смещение экстремальных точек соответствующих характеристик напряженно-деформированного состояния для различных элементов (рисунки 2 - 5).

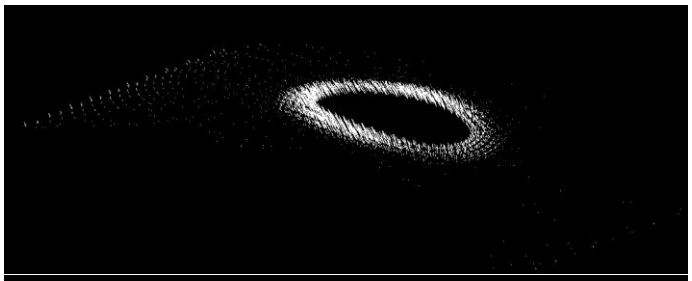


Рисунок 3. Схема распределения узловых перемещений вокруг отверстия.

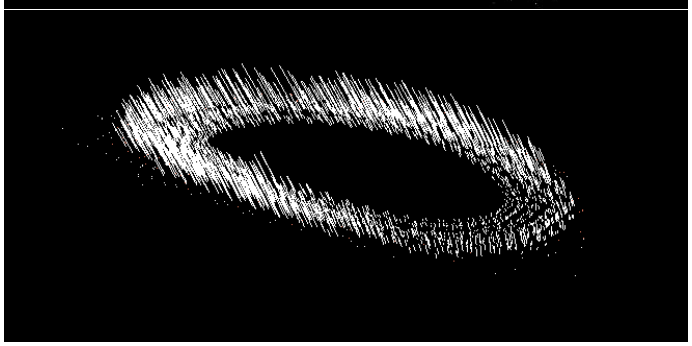


Рисунок 4. Схема распределения интенсивности напряжений в деформируемых элементах вокруг отверстия заготовки.

Взаимосвязь между компонентами тензоров напряжений и деформаций описывается на основе формул Кастильяно зависимостью (1):

$$e_{ij} = \frac{\partial W_k}{\partial \sigma_{ij}}, \tag{1}$$

Потенциал W в этом случае представляется в виде суммы (2)

$$W = \hat{W} + \tilde{W}, \tag{2}$$

где $\hat{W}$ - содержит слагаемые, приводящие к линейным соотношениям,

$\tilde{W}$ - составляющая потенциала, приводящая к нелинейным соотношениям между напряжениями и деформациями.

Выражение для потенциала деформаций имеет вид:

$$W = (A_e + B_e\xi)\sigma^2 + (C_e + D_e\xi + E_e\eta\cos 3\varphi)\tau^2 +$$
$$+[(A_p + B_p\xi)\sigma^2 + (C_p + D_p\xi + E_p\eta\cos 3\varphi)\tau^2]^n,$$

где $A_e, B_e, C_e, D_e, E_e, A_p, B_p, C_p, D_p, E_p$ – выражения, зависящие от констант квазилинейной и нелинейной частей потенциала соответственно.

Применение формул Кастильяно к потенциалу позволяет получить следующие соотношения (3):

$$[W_{ii}] = \frac{\partial [W_1]}{\partial \sigma_{ii}},\ 2[W_{ij}] = \frac{\partial [W_1]}{\partial \tau_{ij}},\ (i \neq j), \tag{3}$$

Дальнейшие преобразования приведут к следующему результату (4):

$$\frac{\partial[W_1]}{\partial\sigma_{ii}}=\begin{bmatrix} 2\sigma/3 \\ 2(\sigma_{ii}-\sigma)/3 \\ \sigma\xi-\xi^3\sigma_{ii}/3 \\ 2\xi(\sigma_{ii}-\sigma)/3+\eta(\tau-\eta\xi\sigma_{ii})/3 \\ \eta\cos 3\varphi[(\sigma_{ii}-\sigma)(2+\xi^2)-\tau\eta\xi]/3+\tau^2\partial\cos 3\varphi/\partial\sigma_{ii} \end{bmatrix}; \tag{4}$$

$$\frac{\partial[W_1]}{\partial\tau_{ij}}=\begin{bmatrix} 0 \\ 4\tau_{ij}/3 \\ -2\xi^3\tau_{ij}/3 \\ 2\xi\tau_{ij}(2-\eta^2)/3 \\ 2\eta\tau_{ij}\cos 3\varphi(2+\xi^2)/3+\tau^2\eta\cdot(\partial\cos 3\varphi/\partial\tau_{ij}) \end{bmatrix};$$

где σ_{ij}, τ_{ij} – компоненты тензора напряжений; ξ, η, $\cos 3\varphi$ – нормированные напряжения и фазовый инвариант соответственно; σ, τ – величина нормального и касательного напряжения на октаэдрической площадке.

В рассматриваемом случае, импульсу внешнего воздействия будет соответствовать пространственная траектория деформирования. При изготовлении трубчатых образцов их внешняя и внутренняя поверхность неизбежно подвергаются наклепу, т.е. еще до испытаний они представляют собой ортотропное тело.

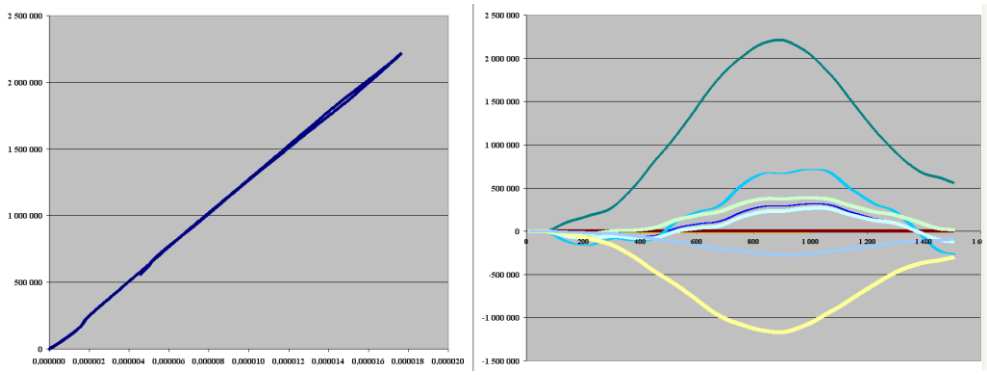


Рисунок 5 а, б. Диаграмма нагружения в упругой зоне для рассматриваемого элемента в осевом сечении заготовки.

Цикличность пространственно-временного изменения характеристик в данном случае будет являться не менее значимым фактором, как и интенсивность внешнего воздействия при исчерпании ресурса пластичности. Стоит отметить определенную взаимосвязь данного изменения и относительного радиуса отверстия заготовки, а также толщины материала. Одновременно с этим, основные характеристики НДС для различных элементов (рисунок) на крае отверстия могут находиться в противофазе – точки 1 и 12, что непосредственно оказывает влияние на процесс итерационного приближения. Поворот единичных элементов (в точках I, III, V, рисунок 1) относительно исходного положения является значительным, что учитывается применением формул Коши – Грина. Полученные соотношения взаимосвязи компонент тензора напряжений и деформаций имеют вид функционала, устанавливающего взаимосвязь констант материала и величин напряжений на предшествующем шаге последовательного нагружения (для изделия любой геометрии, с учетом осевой компоненты):

$$\sigma_{ij_k}=\Phi\left(\sigma_{ij_{k-1}};Y_e;Y_p\right) \tag{5}$$

Особую сложность представляет исследование микротрещин и связанных с этим структурных изменений в материале. При вскрытии микротрещин в зонах заторможенных сдвигов имеют место значительные структурные напряжения, «строгий учет» которых «не реален» [1]. Возможное решение заключается в формулировке пространственно-временного

составного интегрального критерия, оценивающего исчерпание ресурса пластичности. В числе составляющих критерия необходимо указать следующие:

- пространственно-временные характеристики распределения в объеме материала знакопеременных циклов нагружения, соотнесенных с общей длительностью процесса обработки и температурным режимом, приведение характеристик к эквивалентной величине в рассматриваемом сегменте;
- работа по деформированию единичного объема материала, нормированная по отношению к общей работе, необходимой для достижения предельного состояния (энергетический критерий);
- взамноотносительный расчет зон структурных концентраторов для выявления очагов исчерпания ресурса пластичности;
- выявление зон первоочередного исчерпания ресурса пластичности с установлением и формализацией граничных условий.

Программная реализация (Tetra Compound v.1.1) позволяет установить взаимосвязь ранее упомянутых характеристик НДС в объеме материала и соотношения геометрических параметров заготовки при воздействии внешнего электромагнитного импульса, что контексте перечисленных критериев дает возможность сделать шаг от констатирующего характера проводимых исследований к предикативному.

Список литературы

1. *Голенков В.А., Малинин В.Г.* Структурно-аналитическая мезомеханика и ее приложения. М.: Машиностроение, 2009. 635 с.
2. *Трещев А.А.* Теория деформирования и прочности материалов, чувствительных к виду напряженного состояния. Определяющие соотношения: монография. Тула: РААСН, 2008. 264 с.
3. *Трещев А.А.* Исследование устойчивости тонких цилиндрических оболочек, выполненных из дилатирующих материалов. // Изв. вузов. Строительство. 1999. №1. С. 14-19.

01.02.05

А.Г. Поздеев д.т.н., Ю.А. Кузнецова к.т.н.

Поволжский государственный технологический университет,
факультет природообустройства и водных ресурсов, кафедра водных ресурсов,
Йошкар-Ола, PozdeevAG@volgatech.net

МОДЕЛЬ ЖИДКОСТИ С ИСЧЕЗАЮЩЕЙ ВЯЗКОСТЬЮ

Предложена гипотеза переменной вязкости, экспоненциально убывающей по направлению нормали к двумерно обтекаемой плоской поверхности. Установлена совместимость такого предположения с теорией турбулентных потоков со сдвигом. Выведено уравнение переноса завихренности для двумерных течений ньютоновых жидкостей. Получены соотношения, применимые к решению прикладных задач механики жидкости.

Ключевые слова: *двумерные течения, уравнения Навье-Стокса, переменная (исчезающая) вязкость, перенос завихренности.*

Взаимодействие тела и жидкости неразрывно связано с проблемой вязкости жидкости. При определении сопротивления жидкости движущемуся в ней телу модель идеальной жидкости неизбежно приводит к парадоксу Даламбера. Учет вязкости в уравнениях Навье-Стокса вызывает непреодолимые математические трудности при попытке получения решения в квадратурах. Созданная Л. Прандтлем теория пограничного слоя дала решения вопросов сопротивления, удовлетворительно согласующиеся с экспериментом.

При решении задачи об отрыве потока на основе уравнения Фолкнера-Скэн для равнозамедленного течения у полубесконечной плоскости, было отмечено, что картина потенциального течения не совместима с существованием пограничного слоя.

Если кинематическую вязкость жидкости ν устремить к нулю при соответствующем уменьшении толщины пограничного слоя, то можно ожидать, что картина вязкого течения будет стремиться к картине течения идеальной жидкости. Однако при малой вязкости картина ламинарного течения полностью определяется характерной безразмерной функцией $\lambda(\xi) = -2\xi \dfrac{d\ln u_e}{d\xi}$, где u_e - скорость ламинарного потока, а $\xi = \int_0^x u_e(x)dx$ [1]. В этом случае безразмерная функция $\lambda(\xi)$ явно не зависит от кинематической вязкости ν, стремится к положительному бесконечному значению в задней критической точке, что нереально физически.

Поэтому при $\nu \to 0$ картина вязкого течения не обязательно будет стремиться к картине потенциального течения [2].

Это замечание позволило Осзеену сформулировать представление о жидкости с исчезающей вязкостью [3].

Следуя этому пути, необходимо принять для вязкости такое распределение, которое позволило бы согласовать ее конечное значение в тонком пограничном слое и малое, убывающее на бесконечности значение. Этим требованиям эквивалентно утверждение о зависимости коэффициента динамической вязкости от расстояния до обтекаемой поверхности.

Рассматривая простейший случай плоской задачи - двухмерное обтекание плоской бесконечной пластины невозмущенным потоком вязкой жидкости, положим для распределения вязкости зависимость в виде

$$\mu = \mu_0 e^{-\kappa y}, \qquad (1)$$

где μ_0 - коэффициент динамической вязкости на стенке; y - координата рассматриваемой точки в направлении нормали к потоку; κ - постоянная.

Покажем совместимость сделанного предположения с положениями теории турбулентности и, в частности, с процессами переноса в турбулентных потоках.

Положим, что скорость среднего течения параллельна оси x и зависит от одной координаты y, т.е. $U = U(y)$, $V \equiv 0$. Давление во внешнем потоке $p = p(x,y)$, а компоненты скорости и давление в пограничном слое равны

$$u(x,y,t) = U(y) + u'(x,y,t);\ v(x,y,t) = v'(x,y,t);\ p(x,y,t) = p(x,y) + p'(x,y,t), \qquad (2)$$

где u, v - компоненты скорости; U - средняя скорость; u', v' - компоненты турбулентных пульсаций скорости; p - давление; p' - компоненты турбулентных пульсаций давления.

Для несжимаемой жидкости уравнения Навье-Стокса имеют вид:

$$\rho \frac{du_i}{dt} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j}\left(\mu \frac{\partial u_i}{\partial x_j}\right) + \frac{\partial u_j}{\partial x_i}\frac{\partial \mu}{\partial x_j} + F_j, \qquad (3)$$

где F_j - компоненты внешней силы, совершающей работу над единичным объемом жидкости.

В развернутом виде для двухмерного (плоского) течения запишем

$$\begin{cases} \rho \dfrac{du}{dt} = -\dfrac{\partial p}{\partial x} + \dfrac{\partial}{\partial x}\left(\mu \dfrac{\partial u}{\partial x}\right) + \dfrac{\partial}{\partial y}\left(\mu \dfrac{\partial u}{\partial y}\right) + \dfrac{\partial v}{\partial x}\dfrac{\partial \mu}{\partial x} + \dfrac{\partial v}{\partial x}\dfrac{\partial \mu}{\partial y} + F_x; \\ \rho \dfrac{dv}{dt} = -\dfrac{\partial p}{\partial y} + \dfrac{\partial}{\partial x}\left(\mu \dfrac{\partial v}{\partial x}\right) + \dfrac{\partial}{\partial y}\left(\mu \dfrac{\partial v}{\partial y}\right) + \dfrac{\partial u}{\partial y}\dfrac{\partial \mu}{\partial x} + \dfrac{\partial v}{\partial y}\dfrac{\partial \mu}{\partial y} + F_y. \end{cases} \qquad (4)$$

Из принятой гипотезы $\mu = \mu_0 e^{-\kappa y}$ следует, что производная $[\mu(y)]'_y = -\mu_0 \kappa e^{-\kappa y}$, поэтому можно записать

$$\begin{cases} \rho \dfrac{du}{dt} = -\dfrac{\partial p}{\partial x} + \mu_0 e^{-\kappa y}\dfrac{\partial^2 u}{\partial x^2} - \mu_0 \kappa e^{-\kappa y}\dfrac{\partial u}{\partial y} + \mu_0 e^{-\kappa y}\dfrac{\partial^2 u}{\partial y^2} - \mu_0 \kappa e^{-\kappa y}\dfrac{\partial v}{\partial x} + F_x; \\ \rho \dfrac{dv}{dt} = -\dfrac{\partial p}{\partial y} + \mu_0 e^{-\kappa y}\dfrac{\partial^2 v}{\partial x^2} - \mu_0 \kappa e^{-\kappa y}\dfrac{\partial v}{\partial y} + \mu_0 e^{-\kappa y}\dfrac{\partial^2 v}{\partial y^2} - \mu_0 \kappa e^{-\kappa y}\dfrac{\partial v}{\partial y} + F_y. \end{cases} \qquad (5)$$

Для осредненного течения эти уравнения запишутся

$$\begin{cases} \dfrac{\partial p}{\partial x} = -\mu_0 e^{-\kappa y}\dfrac{\partial U}{\partial x} + \mu_0 e^{-\kappa y}\dfrac{\partial^2 U}{\partial y^2} + F_x; \\ \dfrac{\partial p}{\partial y} = F_y. \end{cases} \qquad (6)$$

Для турбулентных флуктуаций получим систему уравнений

$$\begin{cases} \rho\left[\dfrac{du'}{dt} + (U+u')\dfrac{\partial u'}{\partial x} + v'\dfrac{\partial (U+u')}{\partial y}\right] + \dfrac{\partial p'}{\partial x} = \mu_0 e^{-\kappa y}\dfrac{\partial^2 u'}{\partial x^2} + \mu_0 e^{-\kappa y}\dfrac{\partial^2 u'}{\partial y^2} - \mu_0 \kappa e^{-\kappa y}\dfrac{\partial u'}{\partial y} - \mu_0 \kappa e^{-\kappa y}\dfrac{\partial v'}{\partial x}; \\ \rho\left[\dfrac{dv'}{dt} + (U+u')\dfrac{\partial v'}{\partial x} + v'\dfrac{\partial v'}{\partial y}\right] + \dfrac{\partial p'}{\partial y} = \mu_0 e^{-\kappa y}\dfrac{\partial^2 v'}{\partial x^2} + \mu_0 e^{-\kappa y}\dfrac{\partial^2 v'}{\partial y^2} - \mu_0 \kappa e^{-\kappa y}\dfrac{\partial v'}{\partial y} - \mu_0 \kappa e^{-\kappa y}\dfrac{\partial v'}{\partial y}. \end{cases} \qquad (7)$$

Откуда, производя линеаризацию, найдем:

$$\begin{cases} \rho\left(\dfrac{du'}{dt} + U\dfrac{\partial u'}{\partial x} + v'\dfrac{\partial U}{\partial y}\right) + \dfrac{\partial p'}{\partial x} = \mu_0 e^{-\kappa y}\left(\dfrac{\partial^2 u'}{\partial x^2} + \dfrac{\partial^2 u'}{\partial y^2}\right) - \mu_0 \kappa e^{-\kappa y}\left(\dfrac{\partial u'}{\partial y} + \dfrac{\partial v'}{\partial x}\right); \\ \rho\left(\dfrac{dv'}{dt} + U\dfrac{\partial v'}{\partial x}\right) + \dfrac{\partial p'}{\partial y} = \mu_0 e^{-\kappa y}\left(\dfrac{\partial^2 v'}{\partial x^2} + \dfrac{\partial^2 v'}{\partial y^2}\right) - 2\mu_0 \kappa e^{-\kappa y}\dfrac{\partial v'}{\partial y}. \end{cases} \qquad (8)$$

Вводя оператор Лапласа $\Delta = \dfrac{\partial^2}{\partial x^2} + \dfrac{\partial^2}{\partial y^2}$, перепишем в виде

$$\begin{cases} \rho\left(\dfrac{du'}{dt}+U\dfrac{\partial u'}{\partial x}+v'\dfrac{\partial U}{\partial y}\right)+\dfrac{\partial p'}{\partial x}=\mu_0 e^{-\kappa y}\Delta u'-\mu_0\kappa e^{-\kappa y}\left(\dfrac{\partial u'}{\partial y}+\dfrac{\partial v'}{\partial x}\right); \\ \rho\left(\dfrac{dv'}{dt}+U\dfrac{\partial v'}{\partial x}\right)+\dfrac{\partial p'}{\partial y}=\mu_0 e^{-\kappa y}\Delta v'-2\mu_0\kappa e^{-\kappa y}\dfrac{\partial v'}{\partial y}. \end{cases} \tag{9}$$

Дифференцируя первое из этих уравнений по y, а второе по x, найдем

$$\begin{cases} \rho\left(\dfrac{du'}{dt}\dfrac{\partial u'}{\partial y}+\dfrac{\partial U}{\partial y}\dfrac{\partial u'}{\partial x}+U\dfrac{\partial^2 u'}{\partial x\partial y}+\dfrac{\partial v'}{\partial y}\dfrac{\partial U}{\partial y}+v'\dfrac{\partial^2 U}{\partial y^2}\right)+\dfrac{\partial^2 p'}{\partial x\partial y}=\mu_0\kappa e^{-\kappa y}\Delta u'+\mu_0 e^{-\kappa y}\dfrac{\partial}{\partial y}\Delta u'+ \\ +\mu_0\kappa^2 e^{-\kappa y}\left(\dfrac{\partial u'}{\partial y}+\dfrac{\partial v'}{\partial x}\right)-\mu_0\kappa e^{-\kappa y}\left(\dfrac{\partial^2 u'}{\partial y^2}+\dfrac{\partial^2 v'}{\partial x\partial y}\right); \\ \rho\left(\dfrac{dv'}{dt}+U\dfrac{\partial^2 v'}{\partial x^2}\right)+\dfrac{\partial^2 p'}{\partial x\partial y}=-\mu_0\kappa e^{-\kappa y}\Delta v'-\mu_0 e^{-\kappa y}\dfrac{\partial}{\partial x}\Delta v'+2\mu_0\kappa^2 e^{-\kappa y}\dfrac{\partial v'}{\partial y}-2\mu_0\kappa^2 e^{-\kappa y}\dfrac{\partial^2 v'}{\partial x\partial y}. \end{cases} \tag{10}$$

Вычитая первое из этих уравнений из второго получим

$$\rho\left(\frac{dr}{dt}+U\frac{\partial r'}{\partial x}+v'\frac{\partial^2 U}{\partial y^2}\right)=\mu_0 e^{-\kappa y}\left[\Delta r'-\kappa\frac{\partial r'}{\partial y}+\kappa^2\left(\frac{\partial u'}{\partial y}+\frac{\partial v'}{\partial x}-2\frac{\partial v'}{\partial y}\right)-\kappa\left(\Delta u'+\Delta v'\right)\right], \tag{11}$$

где $r'=\dfrac{\partial u'}{\partial x}+\dfrac{\partial v'}{\partial y}$ - завихренность.

Рассмотрим явления только вблизи плоскости $y=0$. С учетом условия прилипания $U(0)=0$; $v'(x,0,t)=0$; $u'(x,0,t)=0$ получаем

$$\left(\frac{\partial v'}{\partial y}\right)_{y=0}=0;\ \left(\frac{\partial u'}{\partial y}\right)_{y=0}=0;\ (r')_{y=r}=\frac{du'}{dy}\ \text{и}\ \Delta r_0=\frac{d^2u'}{dy^2}. \tag{12}$$

Поэтому

$$\rho\frac{\partial r_0}{\partial t}=\mu_0\frac{\partial^2 r_0}{\partial y^2}+\mu_0\kappa^2 r_0-2\mu_0\kappa\frac{\partial r_0}{\partial y}, \tag{13}$$

что может быть интерпретировано как уравнение переноса транспортабельной субстанции, а именно завихренности.

Из теории пограничного слоя известно [3], что для плоского нестационарного течения в плоскости xy уравнения Прандтля совместно с уравнением неразрывности легко преобразуются к уравнению переноса завихренности в виде

$$\frac{\partial r_0}{\partial t}+u\frac{\partial r_0}{\partial x}+v\frac{\partial r_0}{\partial y}=\nu\left(\frac{\partial^2 r_0}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 r_0}{\partial y^2}\right)+F_r, \tag{14}$$

где F_r - "движущая сила" на единицу массы, вызывающая перенос завихренности.

Рассматривая только пристеночные явления, можно записать, что $r_0=du/dy$, тогда члены $u\partial r_0/\partial x$ обращаются в ноль $u\partial^2 r_0/\partial x^2$.

После подстановок найдем

$$\frac{\partial r_0}{\partial t}+v\frac{\partial r_0}{\partial y}=\nu\frac{\partial^2 r_0}{\partial y^2}+F_r. \tag{15}$$

Перепишем уравнение (13) в форме

$$\frac{\partial r_0}{\partial t}+2v_0\kappa\frac{\partial r_0}{\partial y}=\nu_0\frac{\partial^2 r_0}{\partial y^2}+\nu_0\kappa^2 r_0. \tag{16}$$

Введем вслед за Хинце [4] понятие об аналогиях при турбулентном переносе. Предполагается, что перенос какой-либо транспортабельной субстанции (импульса, тепла, вещества, энергии турбулентности) в потоке может быть описан посредством дифференциальных уравнений. В этом случае аналогия при переносе выполняется, если соответствующие дифференциальные уравнения, а также начальные и граничные условия

идентичны. Граничные и начальные условия в рассматриваемом случае идентичны для уравнений (15) и (16). Идентичность самих уравнений может быть достигнута в том случае, если верны соотношения $\nu = 2\kappa\nu_0$, $\nu = \nu_0$, $F_r = \nu^2\kappa^2 r_0$, где ν_0, r_0 - вязкость и завихренность в пристеночном слое, κ - отличная от нуля постоянная с размерностью $[1/L]$.

Итак, при выполнении указанных условий гипотеза переменной вязкости, представленная в виде экспоненциальной зависимости (1) не противоречит теории турбулентного переноса по крайней мере в области близкой к обтекаемой пластине.

Из сформулированных условий следует, что

$$F_r = \nu_0\kappa^2 r_0 = \frac{\nu^2}{4\nu^2}\frac{du}{dy}. \tag{17}$$

Сравним последнее равенство с законом трения Ньютона

$$\frac{\tau_0}{\rho} = \nu_0\frac{du}{dy}, \tag{18}$$

находим

$$\frac{\tau_0}{\rho} = \frac{F_r}{\kappa^2}. \tag{19}$$

Отсюда постоянная κ будет равна

$$\kappa = \sqrt{\frac{F_r\rho}{\tau_0}}, \tag{20}$$

поэтому выражение (1) примет вид

$$\mu = \mu_0\, exp\sqrt{\frac{F_r\rho}{\tau_0}}y. \tag{21}$$

Величина $\frac{F_r\rho}{\tau_0}$ размерностью [1/м^2] имеет смысл отношения "движущей силы" завихренности к касательному напряжению.

Удельная (отнесенная к единице массы) "движущая сила" завихренности определится выражением

$$F_r = \kappa^2\frac{\tau_0}{\rho}, \tag{22}$$

если в рассматриваемой области течения справедлив закон трения Ньютона. Последнее соответствует представлениям о существовании ламинарного подслоя в турбулентном пограничном слое [2].

Определяя из полученных условий величину завихренности, напишем

$$r_0 = \frac{F_r}{\nu_0\kappa^2} = \frac{\tau_0}{\mu_0}. \tag{23}$$

Таким образом, завихренность оказывается связанной с трением на пластине (τ_0), что соответствует широко распространенному взгляду, что причиной возникновения завихренности является вязкость жидкости. Кроме того, поскольку величина τ_0 означает величину касательного напряжения непосредственно на пластине, то поверхность помещенная в поток и является основным источником завихренности. Это согласуется с моделями течения в турбулентном пограничном слое, в которых полагается, что течение в вязком подслое является нестационарным и состоит из участков ламинарного течения, периодически развивающегося до определенной толщины и затем разрушающегося под действием механизма неустойчивости [5].

Модели подобного типа, по-видимому, могут считаться экспериментально подтвержденными.

Окончательно гипотеза переменной вязкости примет вид

$$\nu = \nu_0 e^{-\kappa y} = \nu_0 e^{-\frac{vy}{2\nu_0}} = \nu_0 e^{-\frac{Re'}{2}}, \qquad (24)$$

где $Re' = \frac{vy}{\nu_0}$.

Вязкость потока оказывается связанной с поперечной составляющей скорости в слое, и может оказаться постоянной при значении этой последней равной нулю. Однако, установлено, что значение поперечной составляющей скорости не может быть нулевым [1]. Это является аргументом в пользу предлагаемой гипотезы.

Как известно, если жидкость обладает ньютоновскими свойствами, то ее вязкость зависит от давления по закону Баруса

$$\mu = \mu_0 y^{\eta p}, \qquad (25)$$

где μ_0 - вязкость при атмосферном давлении; η - пьезокоэффициент вязкости; p - гидродинамическое давление в рассматриваемой точке.

Если распределение давления является линейной функцией от координаты нормальной к обтекаемому телу, то закон Баруса сводится к зависимости совпадающей с гипотезой переменной вязкости с коэффициентом пропорциональности равным $K = -\frac{\kappa}{\eta}$ и примет вид

$$\mu = \mu_0 e^{Ky} = \mu_0 e^{-\frac{\kappa y}{\eta}}. \qquad (26)$$

Список литературы

1. *Meksin, D.* New Methods in Laminar Boundary-layer Theory/ D. Meksin. - N.Y.: Pergamon Press, 1961. - P. 15 and 109.
2. *Кутателадзе, С.С.* Пристенная турбулентность/ С.С. Кутателадзе. - Новосибирск: Наука, 1973. - С. 68-85.
3. *Шлихтинг, Г.* Теория пограничного слоя/ Г. Шлихтинг. - М.: Наука, 1974. – 712 с.
4. *Хинце, И.О.* Турбулентность, ее механизм и теория/ И.О. Хинце. - М.: Физматгиз, 1963. С. 344-353.
5. *Репик, Е.У.* Исследование прерывистой структуры течения в пристеночной области турбулентного пограничного слоя/ Е.У. Репик, Ю.П. Соседко// Турбулентные течения. - М.: Наука, 1974. - С. 172-184.

01.02.05

А.Г. Поздеев д.т.н., Ю.А. Кузнецова к.т.н.

Поволжский государственный технологический университет,
факультет природообустройства и водных ресурсов,
кафедра водных ресурсов,
Йошкар-Ола, PozdeevAG@volgatech.net

МЕХАНИЗМ ДВУМЕРНОГО ОТРЫВА ПОТОКА

На основе модели катящихся вихрей доказана тождественность силы Кориолиса, действующей на вихревой слой, присоединенный к обтекаемому профилю, и силы Жуковского, возникающей при обтекании профиля. Предложена модель отрыва потока от обтекаемых двумерных поверхностей.

Ключевые слова: *профиль, цилиндр, вихрь, отрыв потока.*

С отрывом потока от твердых стенок приходится иметь дело в отраслях техники, связанных с течением жидкости или газа [2, 3].

Сопоставление модели катящихся вихрей М.Д. Миллионщикова [1] и плоского пограничного слоя позволило выдвинуть положение о тождественности силы Кориолиса, действующей на слой вихрей, катящихся по обтекаемой поверхности, и силы Жуковского, возникающей при обтекании профиля идеальной несжимаемой жидкостью.

Целью работы является разработка модели присоединенных катящихся вихрей при отрывном обтекании двумерных профилей.

Рассмотрим часть поверхности MN произвольного плоского контура L, обтекаемого потоком идеальной несжимаемой жидкости. Поток полагаем потенциальным всюду, кроме прилежащего к контуру тонкого слоя. Кривая задана в неподвижной системе координат XOY и обтекается потоком вдоль оси OX с постоянной на бесконечности скоростью U^{∞} (рис.1).

Допустим, что по наружной поверхности контура L катятся твердые круговые цилиндрические вихри, которые, не отрываясь от поверхности, сбегают в поток ниже точки N в виде вихревой пелены.

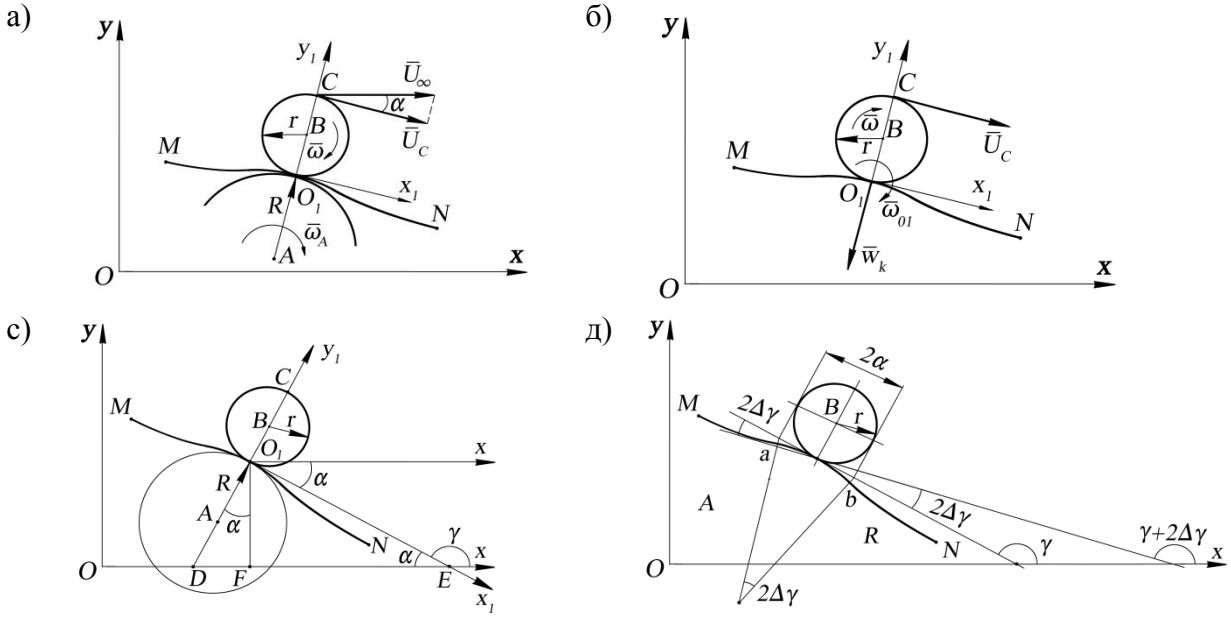


Рис. 1 – Модель катящегося вихря: определение угловой скорости (а), поворотного ускорения (б), круга кривизны (в) и радиуса катящегося вихря (г)

Цилиндр, вращающийся относительно точки B, совершает вращательное движение вокруг мгновенного центра O_1 по часовой стрелке. Оновременно цилиндр совместно с линией AB находится во вращении в том же направлении вокруг оси, проходящей через точку A. Вращение с угловой скоростью ω вокруг оси B является относительным движением, а вращение вокруг оси A - переносным. При качении без скольжения абсолютная скорость точки касания O_1 равна нулю и ось, проходящая через нее, будет мгновенной осью вращения в составном движении вихревого цилиндра (рис. 1,а).

Тело участвует в двух вращениях вокруг параллельных осей, поэтому его составное движение есть мгновенное вращение с угловой скоростью $\omega_{01} = \omega + \omega_A$, происходящее в ту же сторону вокруг мгновенной оси, параллельной данным, и положение которой определяется пропорцией

$$\frac{\omega}{\omega_A} = \frac{R}{r},$$

где R - радиус кривизны обтекаемой поверхности; r - радиус вихря.

Угловая скорость вращения вихревого цилиндра относительно оси B может быть записана в виде $\omega = \dfrac{\Gamma}{2\pi r^2}$.

С учетом приведенной пропорции $\omega_{01} = \omega\left(1 + \dfrac{r}{R}\right) = \dfrac{\Gamma}{2\pi r^2}\left(1 + \dfrac{r}{R}\right)$.

На внешней границе тонкого вихревого слоя, прилегающего к контуру L, абсолютная скорость движения внешней точки вихря U_c равна проекции внешней скорости потока U^∞ на касательную к контуру $U_C = U\cos\alpha$.

Поскольку точка O_1 является мгновенным центром вращения, то относительная скорость центра цилиндра в системе подвижных осей координат $X_1O_1Y_1$ будет равна $U_B = \dfrac{U_C}{2} = \dfrac{U^\infty}{2}\cos\alpha$.

Переносное ускорение имеет величину $w_k = 2\omega_{01}U_B = U^\infty \Gamma \dfrac{\cos\alpha}{2\pi r^2}\left(1 + \dfrac{r}{R}\right)$.

Поскольку масса цилиндра единичной длины в данном случае равна $m = \rho\pi r^2$, то модуль силы Кориолиса, действующей на вихревой цилиндр, определяется из соотношения $F_k = mw_k = \rho U^\infty \Gamma \dfrac{\cos\alpha}{2\pi r^2}\left(1 + \dfrac{r}{R}\right)$.

Направление поворотного ускорения, и, следовательно, силы Кориолиса определяются, если составляющую относительной скорости U_B, нормальную вектору ω_{01}, повернуть в плоскости движения на прямой угол вокруг точки B переносного ускорения (рис. 1,б).

Рассматривая вихревой слой, катящийся по поверхности контура MN, определим сумму проекций сил, действующих на вихревые цилиндры, на ось OY неподвижной системы координат. Для этого спроектируем силу Кориолиса на ось OY. Построив круг кривизны с центром в точке A для некоторой точки касательной O_1 на кривой MN, определим длины касательной EO_1 и подкасательной EF (рис. 1,в):

$$EO_1 = \left|\frac{y_1}{y_1'}\sqrt{y_1'^2 + 1}\right|;\ EF = \left|\frac{y_1}{y_1'}\right|.$$

Из рассмотрения геометрического построения следует, что $\alpha = 180^\circ - \gamma$, поэтому $\cos\alpha = \cos(\pi - \gamma) = -\cos\gamma$.

Угол между направлением оси OY и нормалью к кривой MN равен углу α, поскольку это углы с соответственно перпендикулярными сторонами, поэтому

$$\cos\alpha = -\cos\gamma = \frac{EF}{E0_1} = \frac{1}{\left|\sqrt{1 + y_1'^2}\right|}.$$

Из геометрического построения (рис.1,г) следует, что длина дуги $\overset{\cup}{AB} = 2R\Delta\gamma$, а длина хорды $ab = 2R\sin\Delta\gamma$. Откуда следует, что $r = R\sin\Delta\gamma$.

С учетом равенства $\cos\alpha = -\cos\gamma$, проекция элементарной силы Кориолиса, действующей на отдельный вихревой цилиндр, на ось ординат будет записана

$$F_{ky} = F_k \cos\alpha = \rho U^\infty \Gamma \frac{\cos^2\alpha}{2}(1 + \sin\Delta\gamma).$$

Элементарную проекцию силы Кориолиса можно считать отнесенной к элементарному углу $2\Delta\gamma/\pi$, тогда суммарная проекция сил, действующая на слой вихревых цилиндров, катящихся по поверхности MN, на ось OY будет иметь вид $F = \frac{1}{\pi}\sum_{i=1}^{n} F_{ki}\cos\gamma_i \Delta\gamma_i$, где $i = 1,2,3\ldots,n$.

При малых радиусах катящихся вихрей $r \to 0$ и $\Delta\gamma_i \to d\gamma$, поэтому сумма заменяется определенным интегралом

$$F = \frac{1}{\pi}\int_{\gamma_1}^{\gamma_2} F_k \cos\gamma d\gamma = \frac{\rho U^\infty \Gamma}{\pi}\int_{\gamma_1}^{\gamma_2} \cos^2\gamma(1 + \sin d\gamma)d\gamma = \frac{\rho U^\infty \Gamma}{\pi}(I_1 + I_2).$$

Первый интеграл равен $I_1 = \int_{\gamma_1}^{\gamma_2} \cos^2\gamma d\gamma = \frac{\gamma_1 - \gamma_2}{2} + \frac{\sin 2\gamma_2 - \sin 2\gamma_1}{4}$.

Используя подстановку $\cos\gamma = u,\ -\sin d\gamma\, d\gamma = du$, запишем второй интеграл $I_2 = \int_{\gamma_1}^{\gamma_2} \cos^2\gamma \sin d\gamma d\gamma = \int_{\gamma_1}^{\gamma_2} u^2 du = -\frac{\cos^3\gamma_2 - \cos^3\gamma_2}{3}$.

При изменении угла наклона касательной к кривой MN при обходе контура L от 0 до π вычислим $I_1 = \pi,\ I_2 = 0$. Поэтому $F = \rho U^\infty \Gamma$.

Полученный результат устанавливает эквивалентность силы Кориолиса, действующей на слой катящихся вихрей, подъемной силе Жуковского, возникающей при обтекании профиля потоком.

Используя схему катящихся вихрей, обратимся к отрыву пограничного слоя. Представим вихревые цилиндры как несвободные материальные точки. При этом уравнением связи будет служить уравнение обтекаемой поверхности. В предположении, что связь носит идеальный характер, ее реакция будет направлена только по нормали к поверхности и составляющие силы трения будут равны нулю.

Определим сумму проекций всех сил, действующих на вихревой цилиндр, на направление нормали к обтекаемой поверхности. Этими силами является реакция поверхности MN, центробежная сила $F_ц$, сила Кориолиса $F_к$ и сила давления потока $F_д$. В точке отрыва вихревой цилиндр теряет связь с поверхностью и нормальная реакция N будет равна нулю, поэтому $F_ц - F_к - F_д = 0$.

Центробежная сила, приложенная в центре вихревого цилиндра, направлена по нормали к обтекаемой поверхности и является отрывающей

$$F_ц = m\frac{U_B^2}{R+r} = \rho\pi r^2\frac{U_B^2}{R+r},$$

где $m = \rho\pi r^2$ - масса вихревого цилиндра радиуса r единичной длины; R - радиус кривизны поверхности в точке касания цилиндра; U_B - скорость движения центра вихря.

Доказанное выше положение о тождественности силы Кориолиса и силы Жуковского позволяет записать $F_k = \rho q\Gamma$, где Γ - циркуляция скорости вихря, q - относительная скорость движения центра вихря в потоке. Относительная скорость движения вихря определяет динамические характеристики в криволинейном движении [2]. Это обобщение Л.И.Седова для силы Жуковского на случай произвольного движения вихря указывает на связь между силой Жуковского и силой Кориолиса.

Учитывая, что $\omega_A = \omega r / R$ и $\omega = \Gamma / 2\pi r^2$, выразим скорость перемещения центра тяжести вихря в рассматриваемой точке $U_B = \omega_A(R+r) = \frac{\Gamma}{2\pi}\frac{R+r}{Rr}$. (16)

Тогда для величины циркуляции вихря можно записать $\Gamma = \frac{2\pi U_B Rr}{R+r}$.

Сила Кориолиса получает выражение $F_к = \rho q\Gamma = 2\pi\rho q U_B\frac{Rr}{R+r}$.

Сравнивая выражение обобщенной силы Жуковского для вихря в криволинейном движении и зависимость для силы Кориолиса в виде

$$F_к = \rho U_B\Gamma\left(1+\frac{r}{R}\right),$$

легко усмотреть, что тождественность этих сил наступает при значении относительной скорости $q = U_B\left(1+\frac{r}{R}\right)$.

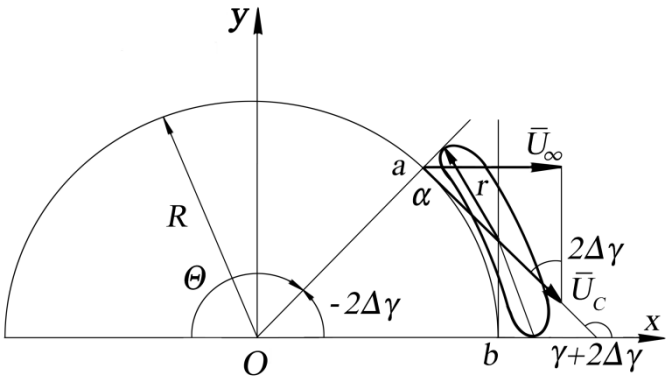


Рис. 2 – Обтекание кругового цилиндра

При малых значениях радиуса вихря $(r < R)$ или при вытянутой, деформированной потоком его форме (рис. 2) величина относительной скорости приближенно может быть записана $q \approx U_B$, и сила Кориолиса будет иметь значение $F_к = 2\pi\rho\frac{Rr}{R+r}U_B^2$.

Эта сила, в соответствии с правилом Жуковского, является удерживающей.

Следующей силой, удерживающей вихрь на обтекаемой поверхности, является сила давления потока. Для вихревого цилиндра конечных размеров, катящегося по некоторой поверхности, сила давления внешнего потока определится по среднему давлению, которое

действует на площадь проекции вихревого шнура радиуса r на обтекаемую поверхность [2]. Давление в пределах вихревого шнура равно

$$p = p^{\infty} - \frac{3}{16}\frac{\Gamma^2}{\pi^2 r^2} = p^{\infty} - \frac{3}{4}\rho U_B^2 \frac{R^2}{(r+R^2)},$$

поэтому сила давления потока запишется

$$F_{\partial} = pS = 2rp = 2p^{\infty} - \frac{3}{2}\rho\frac{rR^2}{(r+R)^2}U_B^2.$$

Подставив в полученные формулы $U_B = U_c/2$, получим для нормальных составляющих сил в рассматриваемой точке поверхности

$$F_{ц} = \rho\pi\frac{r}{4}\left(\frac{r}{r+R}\right)U_c^2;\ F_{к} = \rho\frac{\pi}{2}\frac{rR}{r+R}U_c^2;\ F_{\partial} = 2p^{\infty}r - \frac{3}{8}\rho\frac{R^2 r}{(r+R)^2}U_c^2.$$

Уравнение равновесия в точке отрыва приобретает вид

$$\frac{\rho\pi}{4}\frac{r^2}{r+R}U_c^2 - \frac{\rho\pi}{2}\frac{rR}{r+R}U_c^2 - 2p^{\infty}r + \frac{3}{8}\rho\frac{R^2 r}{(r+R)^2}U_c^2 = 0,$$

откуда найдем $\frac{r}{2(r+R)} - \frac{R}{r+R} - K + \frac{3}{4\pi}\frac{R^2}{(r+R)^2} = 0$, где $K = 4P^{\infty}/(\rho\pi U_c^2)$ и учтено, что радиус цилиндров конечен и $r \neq 0$.

С учетом равенства $r = R\sin d\gamma$, получим

$$(0{,}5-K)X^2 - (0{,}5+2K)X + (3/4\pi - K - 1) = 0,$$

где использовано обозначение $r/R = \sin d\gamma = X$.

Решение уравнения (27) имеет вид

$$X_{1.2} = \frac{0{,}5+2K \pm \sqrt{(0{,}5-2K)^2 - 4(0{,}5-K)(3/4\pi - K - 1)}}{2(0{,}5-K)}.$$

В качестве примера рассмотрим обтекание кругового цилиндра радиуса (рис.2). Для цилиндра величина касательной скорости будет $U_c = 2U^{\infty}\sin\theta$, где U^{∞} - скорость набегающего потока вдали от цилиндра, θ - угол, отсчитываемый от передней критической точки A, между осью симметрии X и радиусом R, проведенным в данную точку.

Давление на цилиндрическую поверхность имеет теоретическое распределение $p^{\infty} = \rho\frac{U^{\infty 2}}{2}\left(1 - 2\sin^2\theta\right)$, поэтому параметр K принимает вид

$$K = \frac{4P^{\infty}}{\rho\pi U_c^2} = \frac{1}{2\pi\sin^2\theta} - \frac{2}{\pi}.$$

Отрывающийся вихрь, располагаясь в кормовой части тела (рис.2), начинается в точке отрыва A и заканчивается в точке B. В таком положении $\theta = 180^{\circ} - |2\Delta\gamma|$. Это позволяет определить угол отрыва из предыдущего выражения и сравнить с известными его значениями для цилиндра [3].

Решение можно произвести путем подбора, задавая угол θ и последовательно определяя величины K, $\sin\Delta\gamma$, $\Delta\gamma$. Процесс подбора продолжается до совпадения заданного угла θ и получаемого из выражения $\theta = 180^{\circ} - |2\Delta\gamma|$. Несложные вычисления позволяют установить, что угол отрыва θ имеет два значения $\theta = 123{,}5^{\circ}$ и $\theta = 110{,}2^{\circ}$, соответствующие первому и второму корню приведенного уравнения.

Из расчетов положения точки отрыва методами теории ламинарного пограничного слоя [3] известно, что для кругового цилиндра удовлетворяется зависимость $X/l' = 0{,}61$, где X - расстояние вдоль дуги эллипса от передней критической точки до точки отрыва, l' - половина периметра эллипса.

Легко заметить, что второе значение угла $\theta = 110{,}2^\circ$ близко к значению $\theta = 109{,}8^\circ$, найденному из отношения $X/l' = 0.61$. Первое значение корня $\theta = 123{,}5^\circ$ хорошо соответствует случаю турбулентного отрыва потока.

Отметим, что использование условия $\theta = 180^\circ - |2\Delta\gamma|$ физически может быть обосновано следующим образом. Удерживающий характер силы Кориолиса при возрастании диаметра вихря приводит к увеличению силы, стремящейся сохранить вихрь на обтекаемой поверхности. При заметном росте диаметра вихря возрастает лобовое сопротивление системы - вихревой слой, отрывной вихрь деформируется по кормовой части тела (рис.2).

Аналогично могут быть установлены значения углов отрыва на целом ряде профилей, если известны зависимости для радиусов кривизны их поверхности, теоретическое распределение давлений и касательных к профилям скоростей.

Приведенные соотношения позволяют определить значение параметра K при любых отношениях a/b и вычислить значения углов отрыва для эллипсов различных форм.

Выводы:

1) на основе модели катящихся вихрей доказана тождественность силы Кориолиса, действующей на вихревой слой, присоединенный к обтекаемому профилю, и силы Жуковского, возникающей при обтекании профиля;

2) предложена модель отрыва потока от обтекаемых двумерных поверхностей.

Список литературы

1. *Миллионщиков, М.Д.* Основные закономерности турбулентного течения в пристеночных слоях/ М.Д. Миллионщиков// Атомная энергия, 1970. Вып.4. Т.28. С. 317-320.
2. *Седов, Л.И.* Механика сплошной среды/ Л.И. Седов. М.: Наука, 1973. Т.2. С. 309-324.
3. *Чжен, П.* Отрывные течения/ П. Чжен. М.: Мир, 1973. Т.2. С. 78-89.

01.04.10

В.В. Трегулов, В.А. Степанов, Г.Н. Скопцова

Рязанский государственный университет имени С.А. Есенина,
Рязань, trww@yandex.ru

РАССЕЯНИЕ СВЕТА В АНТИОТРАЖАЮЩЕМ ПОКРЫТИИ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ НА ОСНОВЕ КРЕМНИЯ

Приведены результаты исследования спектров отражения и рефлектограмм рассеянного света фронтальных поверхностей кремниевых фотоэлектрических преобразователей солнечной энергии. Отмечено, что наиболее предпочтительно использовать в качестве антиотражающего покрытия пленки пористого кремния.

Ключевые слова: *антиотражающее покрытие, пористый кремний, рассеяние света, спектры отражения, фотоэлектрический преобразователь.*

Широкое распространение в солнечной энергетике фотоэлектрических преобразователей (ФЭП) на основе кремния обусловлено тем, что применяемые при их производстве технологии и материалы являются традиционными и хорошо освоенными. Благодаря этому их эффективность преобразования является одной из самых высоких среди всех известных типов ФЭП. Дальнейшее повышение эффективности кремниевых ФЭП может быть обеспечено формированием на их фронтальной поверхности антиотражающих покрытий.

Для снижения отражательной способности фронтальной поверхности ФЭП применяют текстурирующее травление кремниевых пластин в щелочных травителях, а также формирование различных пленок, в том числе пористого кремния (por-Si) [1].

В данной работе исследованы спектры отражения и рефлектограммы рассеянного света фронтальной поверхности кремниевого ФЭП. Изучалась текстурированная поверхность кремниевой пластины, используемой в качестве подложки для изготовления ФЭП (образец №1); ФЭП с пленкой фосфоросиликатного стекла (ФСС) (№2), ФЭП с пленкой por-Si (№3).

Основой исследуемого ФЭП является n^+-p- переход, сформированный с помощью диффузии фосфора на кремниевой пластине p- типа проводимости с удельным сопротивлением 1 Ом·см и ориентацией поверхности (100). Предварительно пластина подвергалась текстурирующему травлению в водном растворе KOH. Глубина залегания n^+-p- перехода составляет 0.3 мкм. В результате проведения диффузии на поверхности пластины образуется слой ФСС.

Пленка por-Si сформирована на поверхности n^+- слоя методом анодного электрохимического травления с использованием стандартного электролита, состоящего из HF и C_2H_5OH (соотношение компонентов 1:1). Процесс проводился при плотности тока 12 мА/см^2, в течение 2 минут без освещения кремниевой пластины. Толщина por-Si не превышает 0.3 мкм.

Основой установки является гониометр, в котором образец фиксировался неподвижно, а углы установки источника света и приемника изменяются независимо. Приемником излучения служит объектив спектрометра USB–4000–VIS–NIR. Источником света при измерении спектров является лампа накаливания, при измерении рефлектограмм – полупроводниковый лазер с длиной волны 650 нм.

Спектры отражения образцов измерялись в диапазоне длин волн 350–1150 нм (рис. 1). Отражательная способность образца № 2 в диапазоне 350–440 нм практически такая же, как у текстурированной поверхности кремния (образец № 1). После 440 нм коэффициент отражения поверхности образца №2 заметно снижается по сравнению образцом №1.

Образец №3 имеет наиболее низкий коэффициент отражения во всем спектральном диапазоне и поэтому обладает наилучшими антиотражающими характеристиками.

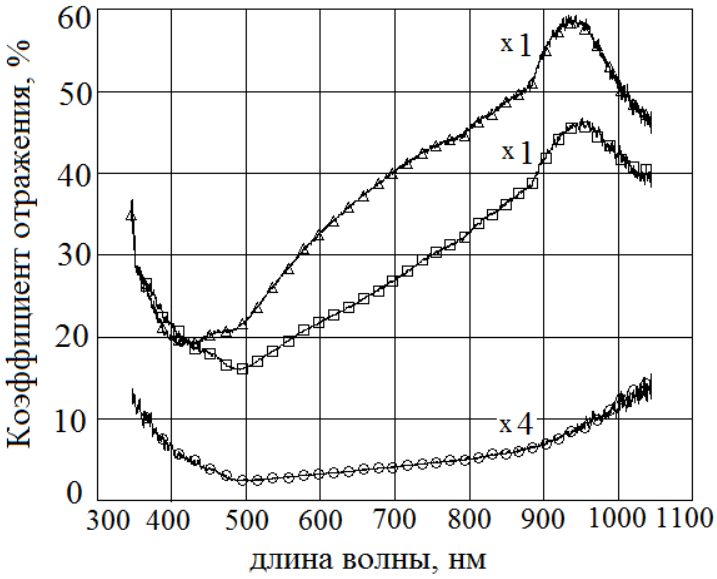


Рис. 1- Спектры отражения образцов № 1 (Δ), № 2 (□); № 3 (○)

Топография поверхности образцов исследовалась методом лазерной гониофотометрии рассеянного света [2]. Измерялись рефлектограммы – зависимость интенсивности рассеянного света от угла падения лазерного луча θ_L ($I(\theta_L)$) при фиксированном угле регистрации рассеянного света θ_D, отсчитываемом от направления лазерного луча (рис. 2) [2]. Фотоприемником отраженного света служит объектив спектрометра USB–4000–VIS–NIR, установленный в плоскости падения лазерного луча под углом θ_D=10° (рис. 2).

Анализ рефлектограмм показал, что исследуемые образцы имеют диффузное рассеяние света, характерное для шероховатых поверхностей.

Согласно модели диффузного отражения, поверхность можно представить в виде совокупности микроплощадок с углами наклона β относительно базовой плоскости образца (рис. 2). Микронормали n этих площадок образуют угол β относительно нормали N к базовой плоскости поверхности в плоскости падения лазерного луча.

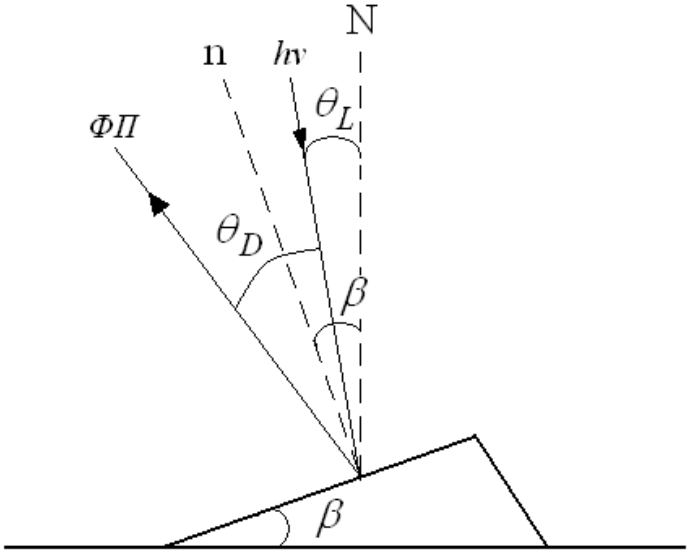


Рис. 2- Схема измерения рефлектограмм [2]

По методике, предложенной в [2], измеренные рефлектограммы $I(\theta_L)$ преобразовывались в функцию распределения локальных углов наклона микрорельефа $f(\beta)$ поверхности в соответствии с выражением:

$$f(\beta) \propto I(\theta_L)\cos\theta_L, \quad (1)$$

где $\beta = \theta_L + \theta_D/2$.

Графики распределения $f(\beta)$ для исследуемых образцов представлены на рис. 3. Максимумы распределения $f(\beta)$ соответствуют различным топографическим элементам рельефа поверхности. Положения максимумов характеризуют углы наклона микроплощадок рельефа [2]. Для образца №1 в рассеяние света наибольший вклад дают микроплощадки с углом наклона боковой грани к базовой поверхности пластины, равным 18º (рис. 3). Также присутствуют фрагменты с углами наклона 7.0º и 5.5º, ориентированные в разных плоскостях относительно нормали к базовой поверхности пластины (рис. 3). По виду кривой $f(\beta)$ можно заключить, что поверхность образца №1 состоит из микроплощадок с размерами, превышающими длину волны падающего излучения (650 нм).

Фронтальные поверхности образцов №2 и №3 (рис. 3) характеризуются похожими, симметричными кривыми распределения $f(\beta)$, состоящими из нескольких перекрывающихся максимумов.

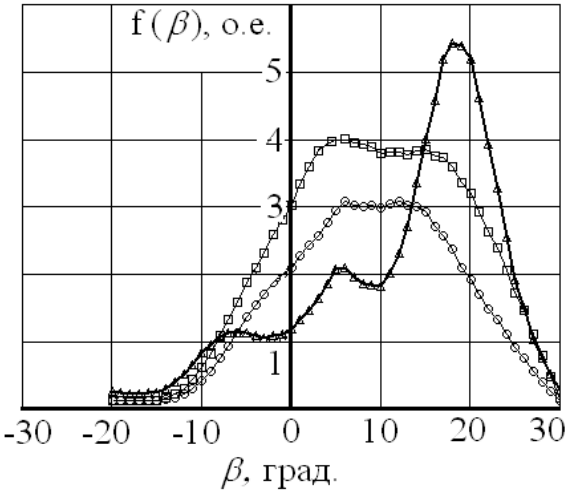


Рис. 3- Распределение $f(\beta)$ для образцов № 1 (Δ), № 2 (□); № 3 (○)

При отражении света от микрограней, соизмеримых с длиной волны падающего света, вследствие дифракции происходит уширение отраженного пучка, которое тем больше, чем меньше размер микрограни [3]. Следовательно, микроплощадки рельефа, определяющие рассеяние света в образцах №2 и №3, распределены в широком диапазоне углов β. Они имеют размеры порядка длины волны падающего света.

В целях оценки эффективности преобразования солнечной энергии исследуемых ФЭП для образцов №2 и №3 измерялась фотоэдс ($U_ф$) при освещении в стандартных условиях AM 1.5. Омические контакты к поверхностям ФЭП для измерения электрических сигналов формировались пайкой индия с последующей формовкой электрическим импульсом. Значения $U_ф$ составили 0.53 В (образец №2) и 0.61 В (образец №3). Следовательно, ФЭП с пленкой por-Si на фронтальной поверхности (образец №3) будет иметь более высокую эффективность преобразования солнечной энергии по сравнению с образцом №2.

Таким образом, применение пленки por-Si на фронтальной поверхности n^+-p- перехода в качестве антиотражающего покрытия кремниевого ФЭП, более предпочтительно по сравнению с пленкой ФСС.

Список литературы

1. *Panek, P.* Porous silicon layer as antireflection coating in solar cells [Text] / P. Panek, M. Lipinski, H. Czternastek // Opto-electronics review. – 2000. – 8(1). – p. 57 – 59.
2. *Борисов, А.М.* Влияние ионно-индуцированного рельефа на высокодозное распыление графита [Текст] / А.М. Борисов, Е.С. Машкова, А.С. Немов, С.А. Камнева, В.А. Курнаев, Н.Н. Трифонов // Вопросы атомной науки и техники. Сер. Термоядерный синтез. – 2004. – вып. 2. – С. 65 – 72.
3. *Топорец, А.С.* Оптика шероховатой поверхности [Текст]/ А.С. Топорец. – Л.: Машиностроение. 1988. – 191 с.

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

02.00.02

А.П. Баюнов, С.Н. Смарыгин к.х.н.

РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева
Кафедра неорганической и аналитической химии,
Москва, aleksandr-bajunov@rambler.ru, ssmarygin@timacad.ru

ВЛИЯНИЕ ВЛАЖНОСТИ НА РЕЗУЛЬТАТЫ БИК-АНАЛИЗА КОМБИКОРМОВ И СПОСОБЫ ЕЕ УЧЕТА

На погрешность анализа комбикормов методом спектроскопии в ближней инфракрасной области (БИК-спектроскопии) и на устойчивость градуировочных моделей существенное влияние оказывает влажность образцов. Предложен способ количественного учета влияния влажности при определении содержания массовой доли аминокислоты в смесях, моделирующих комбикорм, основанный на внесении спектральной поправки. Этот способ позволил снизить систематическую погрешность БИК-анализа. Также предложен графический способ сравнения ИК-спектров.

Ключевые слова: *БИК-спектры, комбикорма, влажность, БИК-спектры, метрология.*

Комбикорм — сложная смесь различных очищенных и измельчённых кормовых средств и микродобавок, вырабатываемая по научно обоснованным рецептам и обеспечивающая полноценное сбалансированное кормление животных [1]. Большинство методов анализа комбикормов требуют многостадийной пробоподготовки, существенных затрат времени, реактивов и высокой квалификации оператора. Этих недостатков лишена спектроскопия в ближней инфракрасной области, которая позволяет проводить недеструктивный количественный и качественный анализ сырья и готовой продукции в агропромышленном комплексе, в частности, для анализа комбикормов [2,3]. Одно из важнейших преимуществ БИК спектроскопии заключается в исключении сложной пробоподготовки. Тем не менее, при подготовке образцов к анализу следует учитывать, что на погрешность БИК-анализа и на устойчивость градуировочных моделей существенное влияние оказывает влажность образцов [5,6]. Данная работа посвященная изучению влияния влажности на метрологические характеристики БИК-анализа комбикормов

Влажность подавляющего большинства объектов, анализ которых осуществляется в сельском хозяйстве и пищевой промышленности, например: зерна, муки, шротов, комбикормов, напрямую зависит от влажности окружающего их воздуха. Влияние влажности на результаты анализа методом инфракрасной спектроскопии отмечено в работах [2,6].

Следует подчеркнуть, что определение содержания влаги в сельскохозяйственных объектах было одной из первых задач, которую удалось успешно решить с помощью метода БИК-спектроскопии. Так как вода – одно из немногих веществ, имеющих в ближнем ИК-диапазоне легко интерпретируемый спектр с четкими пиками, построение хемометрической градуировочной модели упрощается и используется меньшее число главных компонент (не более двух) [7].

Цель данной работы – разработка способа количественного учета влияния влажности при определении иных параметров, например, содержания аминокислоты в двухкомпонентных смесях, моделирующих простейший состав комбикорма, и для устранения этого влияния путём введения спектральной поправки. Градуировочные модели для аналогичных двухкомпонентных смесей были получены нами ранее [8].

Методика исследования

Чтобы построить градуировочную модель для определения влажности из каждого образца муки, находившейся в контакте с атмосферным воздухом, отбирали две навески. Для получения образцов с наименьшим и наибольшим содержанием влаги первую навеску высушивали в эксикаторе над прокаленным хлоридом кальция, а вторую навеску помещали в паровую камеру (герметично закрытый эксикатор, на дне которого находилась вода). Фиксировали массы исходных навесок и массы тех же навесок через 3-е суток обработки. Взвешивание образцов проводили на весах Vibra, модель AF-R220CE (Shinko Denshi Co., Ltd).

Спектры диффузного отражения снимали в диапазоне 4000-10000 см$^{-1}$ на ИК Фурье-спектрометре Spectrum 400 (Perkin Elmer, США) с интегрирующей сферой (NIRA) в Учебно-научном центре коллективного пользования (УНЦКП) «Сервисная лаборатория комплексного анализа химических соединений» РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. Обработку спектров и расчет результатов проводили с помощью программного обеспечения Spectrum и Quant+ (Perkin Elmer).

Градуировочные и контрольные образцы готовили из DL-метионина квалификации ч.д.а. и муки разового помола из пшеницы сорта Ферругинеум урожая 2005 г., предоставленной кафедрой селекции и семеноводства полевых культур РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. Градуировочные модели строили методом регрессии на главных компонентах (PCR). Использовали 21 градуировочный образец с различным содержанием DL-метионина, измерения проводили в пятикратной повторности. Диапазон содержаний (массовая доля) аминокислоты в градуировочных образцах варьировал от 0 до 100%. Проверку градуировочной модели проводили по 20-и контрольным образцам (5 повторностей для каждого), имевшим тот же состав, что и градуировочные образцы, но другое содержание DL-метионина. Оценку метрологических характеристик проводили по стандартной методике [3]. Для каждого из контрольных образцов рассчитывали дисперсию s^2, стандартное отклонение s, относительное стандартное отклонение $s_г$, остаток (разницу между средним рассчитанным и заданным) Δ, среднее смещение $d_{ср}$, суммарную абсолютную погрешность $S_{сумм}$.

Поправочный спектр (s_0) влаги рассчитывали как отношение разности между спектрами образцов муки с бóльшим (s_2) и меньшим (s_1) содержанием влаги к числовому значению разности массовых долей влаги ($\Delta\omega$, %): $s_0 = (s_2 - s_1)/\Delta\omega$. Для внесения поправки на влажность в контрольных образцах рассчитывали содержание влаги по формуле: $\omega_в' = \omega_в \cdot \omega_м$, где $\omega_в$ – содержание (%) влаги в муке, из которой состоит образец, $\omega_м$ – содержание (%) муки в образце. Спектр образца с поправкой рассчитывали по формуле: $s' = s_{исх.} - s_0 \cdot \omega_в'$, где $s_{исх}$ – исходный спектр образца.

Обсуждение результатов

На первом этапе работы подготовили образцы с крайними значениями влажности (один – высушенный в эксикаторе, второй – влажный, получался после выдержки в паровой камере). Изменения влажности по сравнению с мукой, находящейся при комнатных температуре и давлении в контакте с атмосферным воздухом, оценивали гравиметрическим методом. Как видно из табл. 1, разность между массовыми долями влаги между высушенным и влажным образцами составила 18.4%.

Далее снимали спектры диффузного отражения высушенного и увлажненного образцов, по 10 спектров на каждый образец. Наблюдали значительное различие в интенсивности спектров (рис.1).

Таблица 1– Изменение влажности отобранных образцов муки

Образец	Изменение массовой доли влаги, %
Высушенный	-4.5
Влажный	13.9

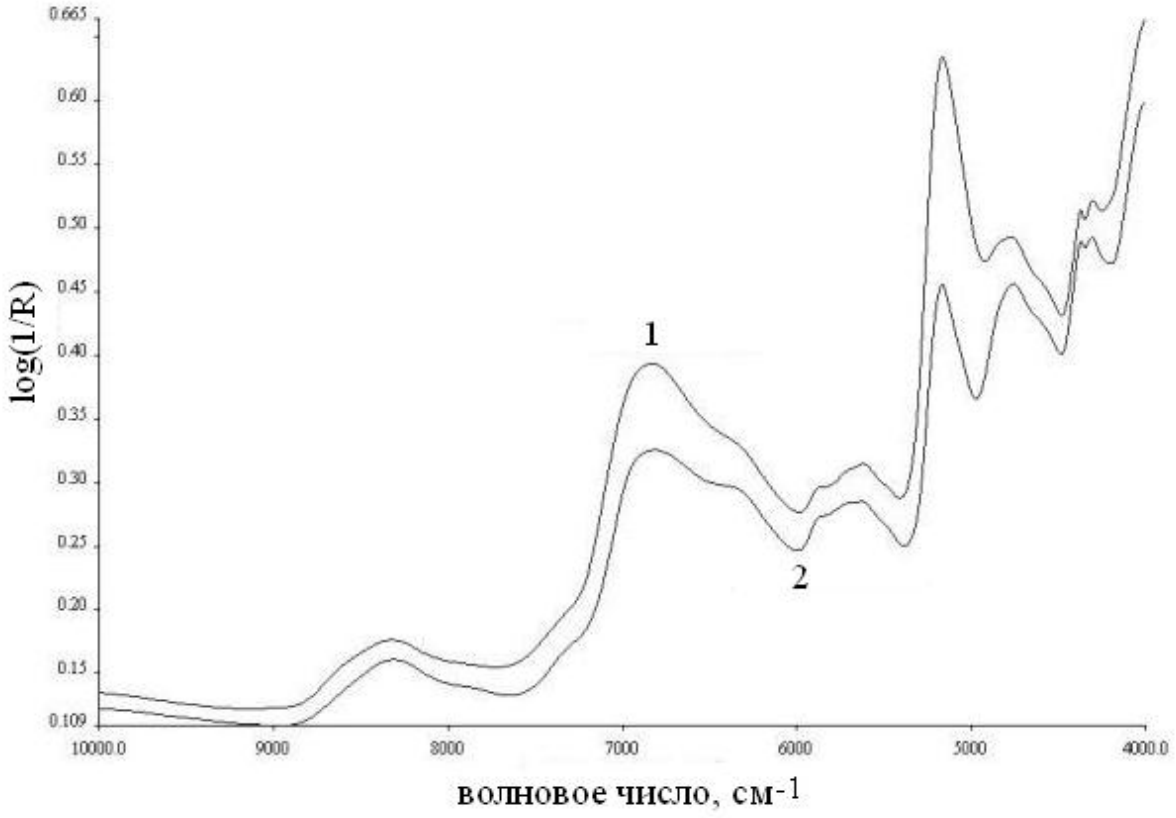


Рис. 1– Усредненные спектры диффузного отражения высушенного и влажного образцов (*R* – коэффициент отражения). Кривая 1 – образец с высокой влажностью, кривая 2 – образец с низкой влажностью

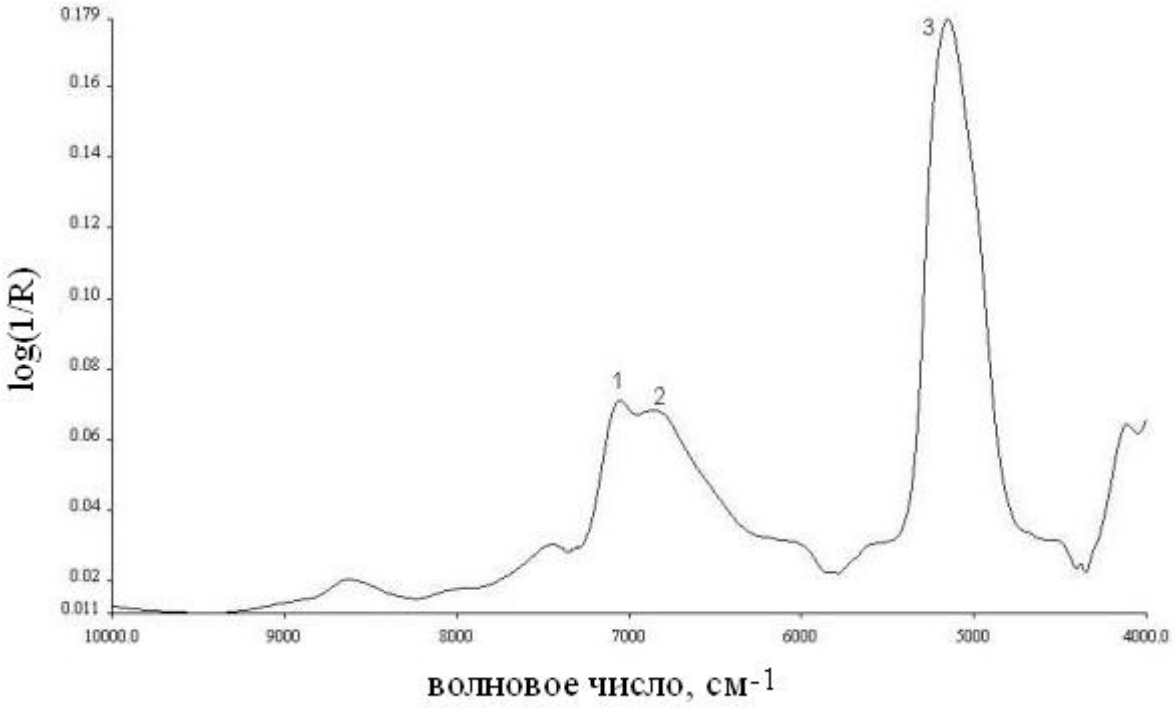


Рис. 2– Разность спектров влажного и высушенного образцов (*R* – коэффициент отражения). Положения пиков: 1 – 7056 см$^{-1}$; 2 – 6852 см$^{-1}$; 3 – 5155 см$^{-1}$

Вычитанием спектра высушенного образца из спектра влажного образца получили спектр, показанный на рис. 2. Характерные полосы поглощения воды имеют максимумы, соответствующие волновым числам 5155 $см^{-1}$ и 7042 $см^{-1}$ [4, 7]. Этим волновым числам соответствуют пики 1 и 3 на рис. 3. Можно считать, что получен некий виртуальный спектр, отражающий изменение спектра образца пшеничной муки в зависимости от изменения его влажности. Однако нельзя утверждать, что спектр на рис.3 тождественен истинному спектру поглощения воды, поскольку при изменении влажности образца изменяются и структурные особенности частиц, входящих в его состав (например, их размер). Последнее утверждение подтверждается тем, что при увеличении влажности происходит набухание муки, сопровождающееся увеличением размера ее частиц и приводящее к смещению базовой линии спектра в сторону большей интенсивности.

Если спектр, приведенный на рис. 2, разделить на значение разности массовой доли влаги между высушенным и увлажненным образцами (18.4%), то можно получить изменение спектра, соответствующее изменению влажности на 1% (поправочный спектр).

Исходя из сказанного выше, можно предложить способ корректировки градуировочных моделей, который позволяет нивелировать влияние на них влажности образцов. Этот способ заключается во внесении поправок в спектры анализируемых образцов путем вычитания из них поправочного спектра, умноженного на значение влажности (%) анализируемого образца, если влажность образца превышает заданное значение, или сложением с поправочным спектром, также умноженным на значение влажности (%) анализируемого образца, если его влажность меньше заданного значения. Значения влажности анализируемых образцов рассчитывали на основании БИК-спектров. Таким образом, можно спектральным способом исключить влажность как фактор, обусловливающий различия между образцами, которые используют для построения и проверки градуировочной модели, и, следовательно, исключить тренды, возникающие под влиянием влажности.

Для проверки правомочности предлагаемого способа использовали две градуировочные модели: а) для определения содержания аминокислоты в двухкомпонентных модельных смесях, состоящих из аминокислоты и пшеничной муки, б) для определения содержания влаги в муке. Градуировочную модель (а) построили и проверили на исходном наборе контрольных образцов, в течение одного рабочего дня. Дополнительный набор контрольных образцов приготовили через 1.5 месяца из муки, хранившейся в контакте с атмосферным воздухом. Для оценки влияния различных факторов на показатели градуировочной модели провели метрологический анализ остатков [3], который выявил влияние влажности на результаты проверки (рис.4). Второй набор образцов состоял из муки, имеющей бóльшее содержание влаги, чем исходный набор образцов, что было определено с помощью градуировочной модели для определения влаги в муке (табл.2). Градуировочную модель (а) после построения проверили дважды: первый раз в день приготовления градуировочных и контрольных образцов, второй раз с использованием образцов, приготовленных из DL-метионина и муки, хранившейся в течение 45 дней в контакте с атмосферным воздухом для моделирования обычных условий хранения образцов комбикормов. Для определения содержания влаги в муке использовали градуировочную модель (б). Второй набор образцов включал в себя муку с бóльшим содержанием влаги (табл. 2). При помощи метрологического анализа остатков, проведенного по обычной методике [3], было выявлено влияние влажности на результаты определения содержания DL-метионина в контрольных образцах (рис. 4). Причем, значение систематической погрешности снижалось с ростом содержания аминокислоты, что можно объяснить тем, что влияние влажности на муку значительно выше, чем на аминокислоту (метионин).

Таблица 2– Результаты определения влажности в образцах муки

Образец муки	Среднее значение влажности (%)	Дисперсия s^2	Относительное стандартное отклонение s_r
Из первого набора	5.50	0.038	0.035
Из второго набора	5.88	0.023	0.026

Чтобы нивелировать различие, обусловленное влажностью, между исходным и дополнительным набором образцов, единичный спектр, умноженный на разность массовых долей влаги в образцах муки из данных наборов, которая составляет 0.38%, вычли из спектров образцов дополнительного набора с поправкой, учитывающей массовую долю муки в каждом конкретном образце.

Таким образом, удалось снизить общую систематическую ошибку и частично сгладить тренд. Как видно из табл. 3, наш метод не влияет на случайную составляющую погрешности, которая охарактеризована дисперсией. Систематическая погрешность уменьшилась, все точки сместились вниз по среднему значению (смещение $d_{ср}$ уменьшилось в 2 раза, а среднеквадратичное отклонение результатов БИК-анализа от введенных содержаний аминокислоты S_d уменьшилось почти в 1.5 раза).

Итак, данный подход позволяет снизить систематическую погрешность, связанную с влажностью, и частично устранить тренд.

Таблица 3– Изменение метрологических характеристик градуировочной модели относительно дополнительного набора контрольных образцов до и после внесения поправки

Градуировочные модели	Дисперсия s^2	Смещение $d_{ср}$, %	Суммарная абсолютная погрешность $S_{сумм}$, %
Без поправки	0.49	0.80	1.10
С поправкой	0.49	0.39	0.74

С нашей точки зрения, важной является также задача сравнения спектров для выявления различий, а также поиска участков, обладающие той или иной степенью информативности в конкретной задаче. Мы предлагаем графический способ сравнения спектров. На графике по оси абсцисс следует откладывать значения интенсивности одного спектра, по оси ординат – значения интенсивности второго спектра. Таким образом можно получить срез спектров. В случае полной идентичности спектров, на графике появится прямая под углом 45° по отношению к осям координат. В случае пропорционального различия между спектрами, получится прямая, угол наклона которой будет определяться коэффициентом пропорциональности между спектрами. В случае качественного различия между спектрами, сдвигами по длинам волн, график будет сильно отличен от прямой, и будет иметь ступени, петли и т.д. Такой способ сравнения спектров отличается простотой и устойчивостью с точки зрения применения по причине отсутствия сложной математической модели. Так, например, если сравнить спектр муки из дополнительного набора образцов со спектром высушенного образца муки, то получим кривую линию с петлями (рис. 3), что свидетельствует о заметном различии между этими спектрами. Сравним спектры тех же образцов после приведения спектра образца из дополнительного набора к высушенному путем вычитания из него единичного спектра с соответствующим коэффициентом. Из рис. 4 видно, что эти различия стали значительно меньше.

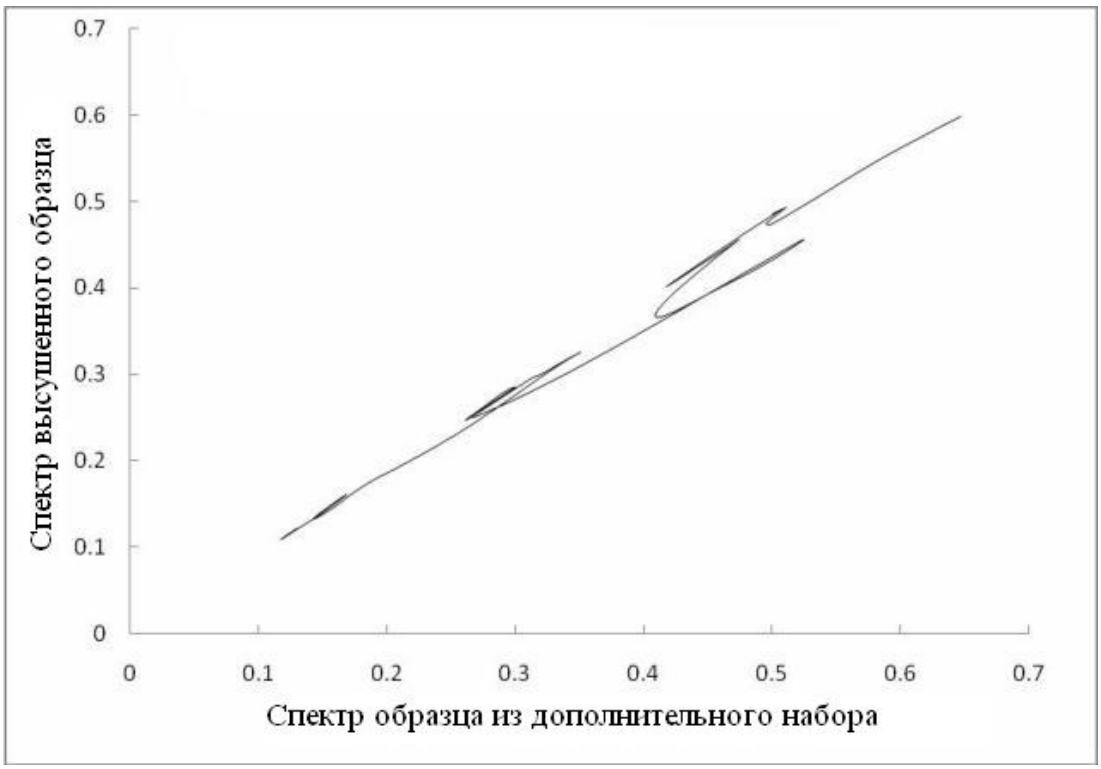


Рис. 3– Сравнение спектров до внесения поправки (интенсивность выражена в log(1/*R*)), где *R* – коэффициент отражения

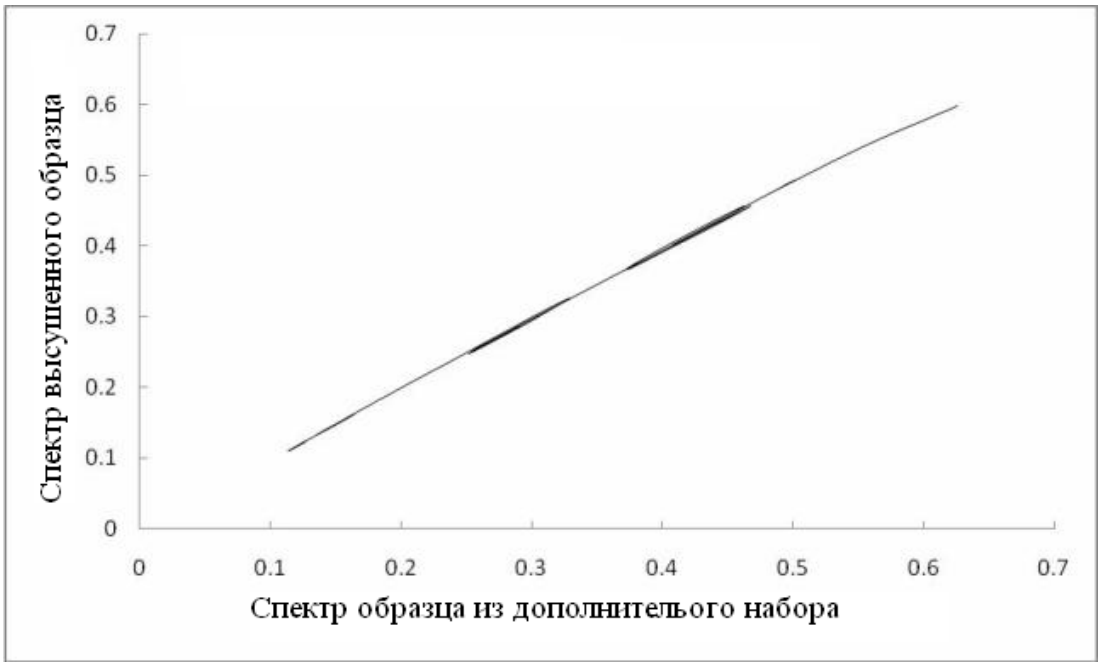


Рис. 4– Сравнение спектров после внесения поправки (интенсивность выражена в log(1/R)), где *R* – коэффициент отражения

Выводы:

1. Предложен способ учета влияния влажности, состоящий в вычислении спектра, соответствующего изменению влажности, и его применения для приведения всех образцов, используемых в градуировочной модели, к одному значению влажности.
2. Предложенный способ, опробованный на градуировочной модели для определения содержания метионина в смесях, моделирующих комбикорм, позволил снизить систематическую погрешность метода.
3. Предложен графический способ сравнения спектров.

В заключение выражаем благодарность руководителю УНЦКП «Сервисная лаборатория комплексного анализа химических соединений» проф. Н.М. Пржевальскому и зав. кафедрой селекции и семеноводства полевых культур проф. В.В. Пыльневу за помощь в работе и ценные замечания, сделанные при ознакомлении с этой статьей.

Список литературы

1. *Крохина В.А., Калашников А.П., Фисинин В.И*. Комбикорма, кормовые добавки и ЗЦМ для животных (состав и применение). – М.: Агропромиздат, 1990. 304 с.
2. ГОСТ Р 50817-95. // Комбикорма, комбикормовое сырье. Метод определения содержания сырого протеина, сырого жира, сырой клетчатки и влаги с применением спектроскопии в БИК области. Изд-во стандартов, Москва, 2010. 8 с
3. *Крищенко В.П*. // Ближняя инфракрасная спектроскопия. М.:, АО Интерагротех, 1997, 638 с
4. *Дворкин В.И*. Метрология и обеспечение качества количественного химического анализа. – М.: Химия, 2001, 263 с.
5. *Ozaki Y., McClure W.F., Christy A.A.* Near-Infrared Spectroscopy in Food Science and Technology, John Wiley & Sons Inc., Hoboken, New Jersey, 2006, 408 p.
6. *Williams P.C. and Norris K*.,Near-Infrared Technology in the Agricultural and Food Industries, American Association of Cereal Chemists (AACC), 2-nd edn., St. Paul, Minnesota, USA, 1987, 330 p.
7. *К. Эсбенсен*. Анализ многомерных данных. – М.: Изд. ИПФХ РАН, 2005, 160 с.
8. *Баюнов А.П., Смарыгин С.Н*. Использование модельных систем для получения градуировок в методе ближней инфракрасной спектроскопии // Вестник Казанского Технологического Университета. 2011, №11., с. 23-30.

02.00.11

А.Р. Гатауллин, С.А. Богданова к.х.н., Л.Я. Захарова д.х.н., Ю.Г. Галяметдинов д.х.н.

Казанский национальный исследовательский технологический университет,
Кафедра физической и коллоидной химии,
г. Казань, zulfat.azari@yandex.ru

ДЕЗАГРЕГАЦИЯ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК В РАСТВОРАХ НЕИОННЫХ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ

Исследовано влияние неионных поверхностно-активных веществ (ПАВ) на процесс ультразвукового диспергирования и стабилизацию суспензий одностенных углеродных нанотрубок (УНТ) в воде. Показано, что размер частиц и устойчивость суспензий зависят от природы и концентрации ПАВ.

Ключевые слова: *углеродные нанотрубки, поверхностно-активные вещества, диспергирование, дезагрегация, стабилизация, ультразвуковая обработка, центрифугирование*.

Введение

Углеродные нанотрубки (УНТ) являются новым наноразмерным материалом с уникальными физико-механическими свойствами, такими как большая удельная поверхность, высокая прочность и электропроводность, что вызывает большой интерес и обуславливает широкие перспективы их применения в науке и технике [1]. Многие направления использования УНТ требуют диспергирования изолированных нанотрубок в различных жидких средах. Вместе с тем, большинство наноструктурных частиц в высокой степени агрегировано. Как правило, даже в исходных продуктах синтеза нанотрубки собираются в агрегаты. Такое агрегированное состояние нанотрубок не может обеспечить в полной мере уникальность их свойств [2]. В настоящее время одной из важнейших сфер использования нанотрубок является создание функциональных материалов на основе УНТ и полимеров [3]. Необходимым условием успешного сочетания нанотрубок и полимеров является максимально однородное распределение частиц наполнителя в матрице. Однако склонность УНТ к агрегации вследствие высокой поверхностной энергии и большого отношения длины к диаметру препятствует образованию стойких дисперсий УНТ в воде и в органических средах, включая полимеры [4]. К методам, облегчающим процесс дезагрегации, относятся методы химического модифицирования УНТ с образованием ковалентных связей между молекулами модификатора и нанотрубкой, а также нековалентное (физическое) модифицирование ПАВ [5, 6]. Нековалентное модифицирование выглядит более предпочтительным, т.к. не влияет на электронную структуру поверхности УНТ и, следовательно, не изменяет уникальных свойств углеродного наномодификатора [7]. В последние несколько лет нековалентное модифицирование УНТ поверхностно-активными веществами нашло широкое применение при получении концентрированных дисперсий индивидуальных нанотрубок в водных и органических растворителях [4]. Вместе с тем, существующие подходы к использованию ПАВ для этих целей недостаточно ориентированы на полимерные материалы в плане совместимости, термостойкости, способности управлять межфазными свойствами полимеров.

Перспективно использование неионных оксиэтилированных ПАВ при дезагрегации УНТ для полимерсодержащих систем, поскольку эти амфифилы находят применение в процессах получения и переработки полимеров, что было изучено нами ранее [8, 9]. Если коллоидная стабильность дисперсий УНТ в растворах ионных ПАВ обеспечивается электростатическим фактором стабилизации [10], то в случае с неионными ПАВ стабильность суспензий тесно связана со стерическим фактором. Имеются сведения о влиянии гидрофильной полярной

части на эффективность диспергирующего действия [11]. Тем не менее, влияние степени оксиэтилирования неионных ПАВ на процесс диспергирования и стабилизацию суспензий УНТ изучено недостаточно.

В связи с этим, основной задачей данной работы является исследование диспергирования УНТ в водных растворах неионных ПАВ и изучение коллоидно-химических свойств полученных суспензий.

Экспериментальная часть

Суспензии однослойных углеродных нанотрубок в воде и в водных растворах ПАВ были получены методом диспергирования в ультразвуковой ванне XUNKE XR560. Процесс осуществлялся в течение 20 минут при частоте 40 кГц и мощности 60 Вт. Исходная концентрация дисперсной фазы составляла 0.01 % масс. Центрифугирование суспензий УНТ осуществлялось на лабораторной центрифуге ОПН-8 в течение 30 минут при 5000 об./мин.

Интенсивность диспергирования и устойчивость суспензий оценивались спектрофотометрическим методом в видимой области спектра на однолучевом спектрофотометре PD-303 при длине волны 520 нм.

Структура суспензий УНТ была изучена методом конфокальной микроскопии на инвертированном микроскопе LSM 510 META (Carl Zeiss), размеры частиц определяли методом динамического рассеяния света на фотонном корреляционном спектрометре PhotoCor Complex в лаборатории высокоорганизованных сред ИОФХ им. А.Е. Арбузова (г. Казань).

В исследовании применялись неионные ПАВ – оксиэтилированные изононилфенолы со средней степенью оксиэтилирования n= 6, 8, 9, 10, 12 производства ОАО «Нижнекамскнефтехим», очищенные по методике, предложенной в работе [12]. Критическая концентрация мицеллообразования (ККМ), определенная методом отрыва кольца Дю Нуи на тензиометре К6 KRUSS, соответствует литературным данным [13]. Также в качестве объекта исследования был использован оксиалкиленорганосилоксановый блоксополимер КЭП-2А полученный в ОАО «Силан» (г. Данков).

В работе использовали одностенные углеродные нанотрубки производства ООО «Пилигрим» (г. Санкт-Петербург).

Обсуждение результатов

Функцией отклика, свидетельствующей о качестве диспергирования, являлась оптическая плотность полученных суспензий. Устойчивость оценивалась по сравнению результатов через час и сутки после ультразвуковой обработки. Исходная концентрация УНТ составляла 0.01%.

В ходе исследований в широкой области концентраций растворов ПАВ было выявлено, что наиболее эффективно диспергирующее и стабилизирующее действие проявляется в присутствии высокомолекулярного кремнийорганического ПАВ - блоксополимера КЭП-2 при концентрации 0.4% масс. (рис. 1) - оптическая плотность возрастает в 2 раза по сравнению с суспензией, полученной в отсутствии ПАВ. Нами также исследовалось влияние центрифугирования на устойчивость и размеры частиц в суспензии. В результате центрифугирования удаляются крупные агрегаты и остаток катализатора [11], эти данные могут свидетельствовать об интенсивности стабилизирующего действия ПАВ вследствие адсорбционного взаимодействия с УНТ. Степень устойчивости суспензии после центрифугирования определяется величиной оптической плотности D супернатанта. Анализируя оптическую плотность D надосадочной жидкости процентрифугированных суспензий в растворах исследуемых ПАВ, можно сделать вывод о том, что суспензии являются кинетически и агрегативно устойчивыми. Из представленных данных видно, что оптическая плотность супернатанта, полученного после центрифугирования, также имела более высокие значения при этой концентрации блоксополимера в растворе.

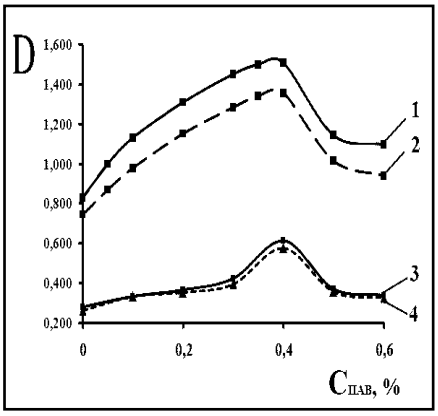


Рис. 1- Зависимость оптической плотности D суспензий УНТ от концентрации КЭП-2: 1- через 1 час после УЗ-обработки; 2- через сутки после УЗ-обработки; 3, 4- после центрифугирования образцов через 1 час и сутки соответственно

При диспергировании УНТ в водных растворах оксиэтилированных изононилфенолов оптимальные значения оптической плотности D суспензии были получены для степени оксиэтилирования n=8 при критической концентрации мицеллообразования (ККМ) (рис. 2 а, б). Из зависимости, представленной на рис. 2а видно, что значения D для суспензий УНТ в водных растворах ОЭ изононилфенолов до центрифугирования меньше, чем в случае использования КЭП-2.

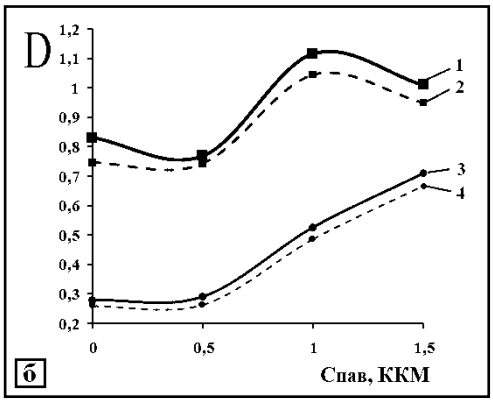


Рис. 2- Зависимость оптической плотности D суспензий УНТ:
а) от степени оксиэтилирования n ОЭ изононилфенолов (С=ККМ): 1– без ПАВ; 2, 3 – через 1 час и сутки после УЗ-обработки соответственно;
б) от концентрации растворов при n=8: 1, 2 - через 1 час и сутки после УЗ-обработки соответственно; 3, 4– после центрифугирования образцов через 1 час и сутки соответственно

Экстремальный характер зависимости действия аддуктов оксида этилена и различных органических соединений от числа оксиэтиленовых групп в молекуле ПАВ был отмечен ранее [8] и обусловлен по-видимому конформационными превращениями и контракцией оксиэтиленовой цепи. Оптическая плотность супернатанта после центрифугирования систем, полученных в присутствии КЭП-2А и ОЭ изононилфенолов сопоставима.

Структура полученных суспензий УНТ была исследована методом конфокальной микроскопии. Этот метод позволяет оценить качество диспергирования УНТ в воде и водных растворах ПАВ, проанализировать влияние диспергирующего агента на свойства суспензий, исследовать их полидисперсность. На рисунке 2 приведены микрофотографии суспензий углеродных нанотрубок в присутствии ПАВ (оксиалкиленорганосилоксанового блоксополимера) (0.4% масс.) до и после центрифугирования. Как и следовало ожидать, в суспензии после центрифугирования содержится намного меньше частиц, что связано с оседанием крупных агломератов УНТ в поле центробежных сил. Также предварительно

можно констатировать, что система после центрифугирования обладает меньшей полидисперсностью, чем до центрифугирования. Дезагрегация УНТ в присутствии ПАВ очевидна.

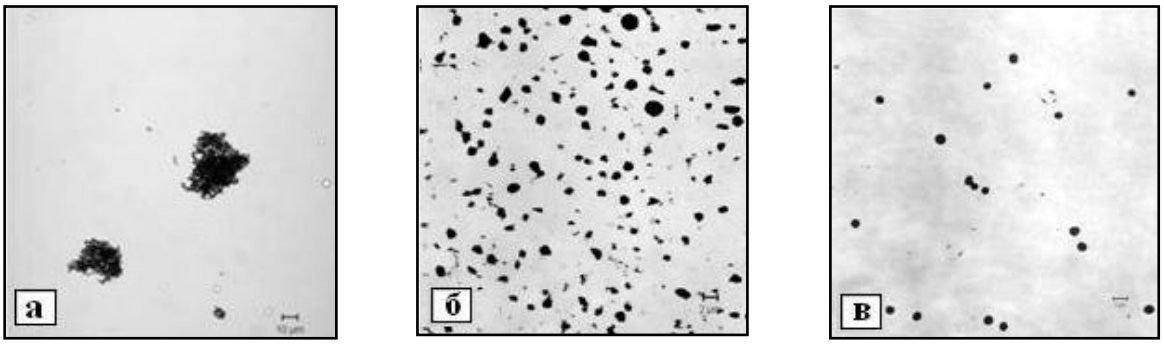


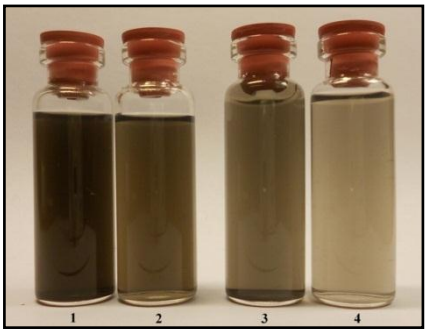
Рис. 3– Микрофотографии суспензий углеродных нанотрубок а) агрегаты УНТ; б) после УЗ-обработки в присутствии ПАВ - оксиалкиленорганосилоксанового блоксополимера (0.4%); в) после центрифугирования

Таблица 1- Средние гидродинамические радиусы частиц суспензий УНТ

Система	R, нм
УНТ(0.01%)/ H_2O	144.5
УНТ / H_2O/ КЭП-2 (0.4%)	104.9
УНТ / H_2O/ КЭП-2 (0.4%) (после центрифугирования)	85.12
УНТ / H_2O/ АФ 9-8 (ККМ)	109.2
УНТ / H_2O/ АФ 9-8 (ККМ) (после центрифугирования)	100.3

Для суспензий УНТ, полученных ультразвуковым диспергированием в присутствии наиболее эффективной концентрации ПАВ - блоксополимера (0.4% масс.) и ОЭ изононилфенола с n=8 (ККМ) методом динамического светорассеяния были определены средние размеры частиц до и после центрифугирования. Полученные результаты представлены в табл. 1. Как и ожидалось, средние размеры частиц суспензии после УЗ-обработки и последующего центрифугирования (радиус частиц ~85 нм) имеют меньшие значения, чем только после УЗ диспергирования (радиус частиц ~105 нм). Очевидно, что добавка высокомолекулярного кремнийорганического ПАВ оказывает более эффективное диспергирующее действие.

Сравнивая полученные результаты с данными предыдущих исследований [14], можно сделать вывод, что удалось достичь некоторого уменьшения среднего размера частиц суспензий. Это стимулирует дальнейший поиск в области изучения влияния природы и концентрации неионных ПАВ на процесс дезагрегации УНТ в различных жидких средах.



а) **б)**

Рис. 4– Фотографии суспензий УНТ в воде (0,01% масс.) и водных растворах ПАВ: а) 1– без УЗ-обработки; 2– через сутки после УЗ-обработки; 3– через 2 месяца после УЗ-обработки; б) 1, 2– через сутки и 2 месяца соответственно после УЗ-обработки в присутствии оксиалкиленорганосилоксанового блоксополимера (0.4 % масс.); 3, 4- через сутки и 2 месяца после УЗ-обработки в присутствии изононилфенола (n=8) (ККМ)

На рисунке 4 представлены фотографии суспензий УНТ в воде и в водных растворах ПАВ через сутки и через 2 месяца после УЗ-обработки. Анализ фотографий суспензий подтверждает, что КЭП-2 является наиболее эффективным диспергатором и стабилизатором для УНТ в водной среде.

Результаты исследования могут быть полезны при получении наномодифицированных полимерных композиционных материалов.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта компании ОПТЭК.

Список литературы

1. *Dresselhaus M.S., Dresselhaus G., Jorio A.* Unusual properties and structure of carbon nanotubes Unusual properties and structure of carbon nanotubes // Annu. Rev. Mater. Res. – 2004. – V.34. – P. 247−278.
2. *Bokobza, L.* Multiwall carbon nanotube elastomeric composites: A review // Polymer. – 2007. – V.48. – P. 4907 – 4920.
3. *Grady B.P.* Recent Developments Concerning the Dispersion of Carbon Nanotubes in Polymers // Macromol. Rapid Commun. – 2010. – V.31. – P. 247–257.
4. *Бадамшина Э.Р., Гафурова М.П., Эстрин Я.И.* Модифицирование углеродных нанотрубок и синтез полимерных композитов с их участием // Успехи химии. – 2010. – т. 79. - №11. – С.1027 - 1064.
5. *Bergin S.D.* New solvents for Nanotubes: Approaching the dispersibility of surfactants / S.D. Bergin, Z. Sun, P. Streich, J. Hamilton, J.N. Coleman // J. Phys. Chem. C. – 2010. – V.114. – P. 231–237.
6. *Blanch A. J., Lenehan C.E., Quinton J.S.* Optimizing surfactant concentrations for dispersion of single-walled carbon nanotubes in aqueous solution // J. Phys. Chem. B. – 2010. – V.114. – P. 9805–9811.
7. *Ji Y.* Polysiloxane Surfactants for the Dispersion of carbon nanotubes in nonpolar organic solvents / Y. Ji, Y.Y. Huang, A.R. Tajbakhsh, E.M. Terentjev // Langmuir. - 2009. - V.25. - P. 12325–12331.
8. *Богданова С.А., Барабанов В.П.* Коллоидно-химические аспекты взаимодействия ПАВ с поверхностью полимеров // Вестник КГТУ. – 2010. - №4. – С. 7-25.
9. *Шашкина О.Р.* Влияние свободной поверхностной энергии полимеров на формирование их межфазного контакта с оксиэтилированными изононилфенолами / О.Р. Шашкина, С.А. Богданова, В.П. Барабанов, О.В. Стоянов, Г.П. Белов // Клеи, герметики, технологии. – 2010. - №10. - С. 25-34.
10. *Wang H.* Dispersing single-walled carbon nanotubes with surfactants: A small angle neutron scattering study / H.Wang, W. Zhou, D.L. Ho, K.I. Winey, J.E. Fischer, C.J. Glinka, E.K. Hobbie // Nano Letters. - 2004.- V.4.- №9.- P.1789-1793.
11. *Moore V.C.* Individually Suspended Single-walled Carbon nanotubes in various surfactants / V.C. Moore, M.S. Strano, E.H. Haroz, R.H. Hauge, R.E. Smalley // Nano Letters. - 2003. -V.3. - №10. - P. 1379-1382.
12. *Cracken Y.R., Datyner A.* The purification of polyoxyethylated alkylphenol surfactants // Colloid and Polymer Science.- 1974. – V.252. - №11. - P. 971 - 977.
13. *Kuz'min V.Z.* Surface Activity of Oxyethylated Alkylphenols / V. Z. Kuz'min, I. I. Safarova, T. M. Prokudina, V. A. Shepelin, and R. R. Sharifullin // Russian Journal of Applied Chemistry. – 2007. - V.80. - № 5 – P.757 - 760.
14. *Гатауллин А.Р.* Диспергирование одностенных углеродных нанотрубок и фуллеренов C_{60} в воде и в водных растворах ПАВ / А.Р. Гатауллин, М.С. Французова, С.А. Богданова, Ю.Г. Галяметдинов // Вестник Казанского технологического университета. - 2011. - №10. - С. 54 -57.

02.00.01

И.Г. Рыльцова к.х.н., Р.Н. Саенко, О.Е. Лебедева д.х.н.

Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
кафедра общей химии,
Белгород, irina_rylcova@mail.ru

ПРОЦЕСС КРИСТАЛЛИЗАЦИИ КОБАЛЬТСОДЕРЖАЩИХ СЛОИСТЫХ ДВОЙНЫХ ГИДРОКСИДОВ

Кобальтсодержащие слоистые двойные гидроксиды со структурой гидротальката синтезированы методом соосаждения из растворов солей соответствующих металлов при переменном pH. Показано, что уже при комнатной температуре происходит формирование слоистой структуры, однако термостатирование осадков под маточным раствором при температуре 98˚С в течение 48 часов приводит к увеличению степени кристалличности и упорядоченности бруситоподобных слоев.

Ключевые слова: *гидроталькит, кобальт, слоистые двойные гидроксиды, соосаждение, РФА.*

Современный неорганический синтез направлен на получение материалов с заданными свойствами. Одним из перспективных направлений в данной области является синтез слоистых двойных гидроксидов.

Слоистые двойные гидроксиды (СДГ) – это сложные гидроксосоли со слоистой структурой. Наиболее изученным представителем данного класса соединений является природный минерал гидроталькит, поэтому в литературе часто слоистые гидроксиды называют гидроталькитоподобными соединениями. Простейшая формула гидроталькита имеет вид $[Mg_6Al_2(OH)_{16}CO_3 \cdot 4H_2O]$. Общая формула гидроталькитоподобных соединений – $[M^{2+}_{1-x}M^{3+}_x(OH)_2]^{x+}[(A^{n-})_{x/n} \cdot mH_2O]$, где M^{2+} и M^{3+} – ионы металлов, формирующие бруситоподобный слой, а A^{n-} - анионы, которые могут разместиться в свободном пространстве между бруситоподобными слоями [1-3]. СДГ обладают рядом свойств, обуславливающих широкий диапазон их применения, например, они могут использоваться в качестве катализаторов и прекурсоров катализаторов [4,5]. Область применения СДГ во многом определяется катионным составом металлгидроксидных слоев.

В задачи настоящей работы входили синтез СДГ со структурой гидроталькита, содержащих в составе металлгидроксидных слоев ионы двух- и трехзарядного кобальта, и подбор оптимальных условий формирования кристаллической структуры. В дальнейшем СДГ, содержащие двухзарядные ионы кобальта, обозначены как MgCo/Al, а СДГ, имеющие трехзарядный кобальт в своем составе, - как Mg/AlCo.

В литературе имеются публикации, посвященные синтезу и изучению свойств СДГ, содержащих Co^{2+} [6-10], однако работы посвященные синтезу СДГ, содержащих Co^{3+} единичны, при этом методика синтеза имеет ряд недостатков, включающих сложность исполнения и использование агрессивных окислителей [11].

В данной работе СДГ были синтезированы по стандартной методике – путем соосаждения компонентов из растворов соответствующих солей, но в случае получения Co^{3+}- СДГ синтез осуществляли в окислительной среде. В качестве окислителя был использован пероксид водорода, который вводился в реакционную смесь вместе с осадителем (смесь гидроксида и карбоната натрия). В качестве источников ионов магния, алюминия и кобальта использовали нитраты соответствующих металлов. После осаждения осадки подвергали старению в течении 1 суток при комнатной температуре и последующему термостатированию при 98˚С в течение 48 часов под маточным раствором.

Целесообразность использования выбранной методики синтеза оценивали путем изучения процесса кристаллизации методом рентгенофазового анализа на дифрактометре фирмы Rigaku. На различных этапах синтеза отбирали образцы и осуществляли их рентгенофазовый анализ с целью определения фазового состава и оценки степени кристалличности. На рис. 1 и 2 представлены дифрактограммы образцов, содержащих двух- и трехзарядные ионы кобальта соответственно.

РФА показал, что формирование слоистой структуры наблюдается уже при комнатной температуре. Образцы представляют собой однофазный продукт с набором рефлексов, отвечающих структуре гидроталькита. Однако термостатирование при 98°С способствует росту степени кристалличности образцов и упорядоченности во взаимном расположении металлгидроксидных слоев, о чем свидетельствует сужение и увеличение интенсивности рефлексов [12].

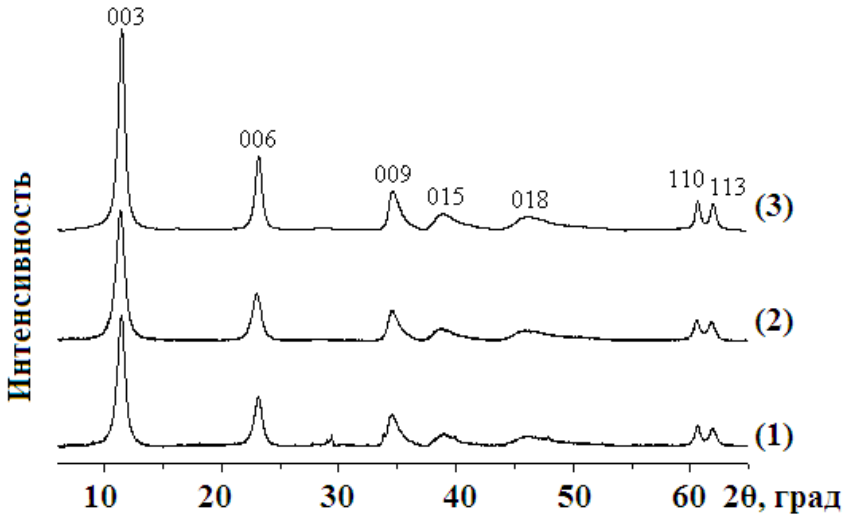


Рис. 1 – Рентгеновские дифрактограммы образца $Mg_{0,796}Co_{0,067}/Al_{0,137}(OH)_2(CO_3)_{0,069}\cdot 0,94H_2O$ в процессе кристаллизации:
1 – через 24 ч при комнатной температуре; 2 – через 24 ч при комнатной температуре и 24 ч при 98°С; 2 – через 24 ч при комнатной температуре и 48 ч при 98°С

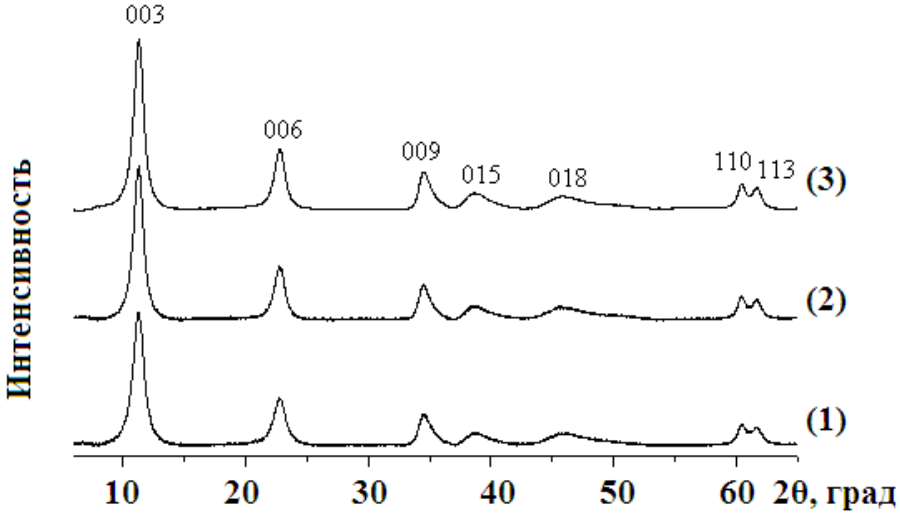


Рис. 2 – Рентгеновские дифрактограммы образца $Mg_{0.887}/Al_{0.037}Co_{0.076}(OH)_2(CO_3)_{0,057}\cdot 0,99H_2O$ в процессе кристаллизации:
1 – через 24 ч при комнатной температуре; 2 – через 24 ч при комнатной температуре и 24 ч при 98оС; 2 – через 24 ч при комнатной температуре и 48 ч при 98°С

В большей степени это проявляется в ряду слоистых гидроксидов, содержащих катионы Co^{3+} в структуре металлгидроксидных слоев. Об этом свидетельствуют и данные, рассчитанные на основании данных РФА для синтезированных образцов СДГ (таблица). Известно, что при плотной упаковке бруситоподобных слоев выполняется соотношение: $d(003)=2\cdot d(006)=3\cdot d(009)$ [13]. Действительно, для образцов синтезированных кобальтсодержащих СДГ с увеличением времени термостатирования значения $d(003)$, $2\cdot d(006)$ и $3\cdot d(009)$ сближаются.

Таким образом, формирование слоистой структуры при синтезе кобальтсодержащих СДГ методом соосаждения из растворов при переменном pH происходит уже при комнатной температуре. Однако термостатирование при 98°С способствует повышению степени кристалличности СДГ. Хорошо окристаллизованные образцы удается получить как при использовании двухзарядных, так и трехзарядных ионо кобальта.

Таблица – Расчетные величины для оценки степени упорядоченности упаковки по данным РФА

Образец	*d(003)*	*2·d(006)*	*3·d(009)*
MgCo 0,067/Al через сутки после осаждения при комнатной температуре	7,715	7,680	7,851
MgCo 0,067/Al через 24 часа выдерживания при 98˚С	7,781	7,740	7,804
MgCo 0,067/Al после 48 часов термостатирования при 98°С	7,696	7,680	7,803
Mg/AlCo 0,076 через сутки после осаждения при комнатной температуре	7,839	7,760	7,803
Mg/AlCo 0,076 через 24 часа выдерживания при 98˚С	7,838	7,778	7,803
Mg/AlCo 0,076 после 48 часов термостатирования при 98°С	7,832	7,820	7,806

Работа выполнена по проекту в рамках государственного задания на НИР, регистрационный номер 3.853.2011.

Список литературы

1. Cavani F., Trifiro F., Vaccari A. Hydrotalcite-type anionic clays: preparation, properties and applications // Catalysis Today. – 1991. – №11. – P. 173–301.
2. Forano C., Hibino T., Leroux F., Taviot-Gueho C. Layered Dauble Hydroxides // Developments in Clay Science: Hendbook of Clay Science. – 2006. –V. 1. – P. 1021 – 1098.
3. Braterman P.S., Xu Z.P., Yarberry F. Layered Double Hydroxides (LDHs) // Handbook of layered materials. –2007. – P. 373 – 474.
4. Sels B.F., De Vos D.E., Jacobs P.A. Hydrotalcite-like anionic clays in catalytic organic reactions // Catalysis Reviews. – 2001. – V. 43. – № 4. – P. 443 – 488.
5. Li F., Duan X. Applications of Layered Double Hydroxides // Struct Bond. 2006. – V. 119. – P. 193 – 223.
6. Старикова Е.В., Исупов В.П., Тарасов К.А., Чупахина Л.Э., Юликов М.М. Исследование образования наночастиц никеля и кобальта при термическом разложении Ni,Al- и Co,Al-слоистых двойных гидроксидов, содержащих комплексы $[Ni(edta)]^{2-}$ и $[Co(edta)]^{2-}$ // Журнал структурной химии. – 2004. – Т. 45. – С. 116–121.
7. Liu Z., Ma R., Osada M., Iyi N., Ebina Y., Takada K., Sasaki T. Synthesis, Anion Exchange, and Delamination of Co-Al Layered Double Hydroxide: Assembly of the Exfoliated Nanosheet/Polyanion Composite Films and Magneto-Optical Studies // J. Am. Chem. Soc. –2006. – V. 128. – № 14. – P. 4872 – 4880.
8. Ulibarri M.A., Fernindez J.M., Labajos F.M., Rives V. Anionic Clays with Variable Valence Cations: Synthesis and Characterization of $[Co_{1-x}AI_x(OH)_2](CO_3)_{x/2}*nH_2O$ // Chem. Mater. – 1991. – V. 3. – № 4. – P. 626 –630.
9. Ma R., Liu Z., Takada K., Iyi N., Bando Y., Sasaki T. Synthesis and exfoliation of Co^{2+}-Fe^{3+} layered double hydroxides: an innovative topochemical approach // J. Am. Chem. Soc. – 2007. – V. 129. – № 16. – P. 5257 – 5263.
10. Chmielarz L., Kustrowski P., Rafalska-Lasocha A., Majda D., Dziembaj R. Catalytic activity of Co-Mg-Al, Cu-Mg-Al and Cu-Co-Mg-Al mixed oxides derived from hydrotalcites in SCR of NO with ammonia // Applied Catalysis B: Environmental. – 2002. – V. 35. – P. 195 – 210.
11. Vaysse C., Guerlou-Demourgues L., Delmas C. Thermal evolution of carbonate pillared layered hydroxides with (Ni, L) (L – Fe, Co) Based Slabs: Grafting or Nongrafting of Carbonate Anions? // Inorganic Chemistry. – 2002. – V. 41. – № 25. – P. 6905 – 6913.
12. Елисеев А.А., Лукашин А.В., Вертегел А.А., Тарасов В.П., Третьяков Ю.Д. Исследование процессов кристаллизации слоистых двойных гидроксидов Mg-Al // Доклады академии наук. – 2002. – Т. 387. – № 6. – С. 777 – 781.
13. Saber O., Tagaya H. Preparation of new layered double hydroxide, Co-V LDH // Rev. Adv. Mater. Sci. – 2005. – V. 10. – P. 59 – 63.

02.00.06

А.А. Хасанов, В.А. Ефимов д.х.н.

Ярославский государственный технический университет,
химико-технологический факультет,
кафедра «Химия и технология биологически активных и высокомолекулярных соединений»,
Ярославль, hasanov36484@gmail.com, efimovva@ystu.ru

К МЕТОДОЛОГИИ РАСЧЕТА МОЛЕКУЛЯРНО-МАССОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛИМЕРОВ

Рассмотрены некоторые методологические аспекты расчета молекулярных параметров полимеров, образующихся в процессе обратимой живущей полимеризации. Предложен комплекс критериев, определяющих степень достоверности расчета молекулярно-массового распределения (ММР) и его параметров.

Ключевые слова: *Молекулярно-массовое распределение, математическая модель, методология, расчет.*

В работе [1] нами предложен определенный методологический подход к расчету ММР полимеров на примере обратимой живущей полимеризации, которую можно представить в виде следующей кинетической схемы:

Схема 1

$$R_j + M \underset{k_d}{\overset{k_p}{\rightleftharpoons}} R_{j+1}$$

где R_j – концентрация активных j-меров, M – текущая концентрация мономера, k_p и k_d – константы скорости роста и деполимеризации, соответственно.

Математическая модель указанной реакции была представлена авторами [2, 3] в виде следующей системы дифференциальных уравнений

Математическая модель 1

$$\frac{dR_1}{d\tau} = -\frac{M \cdot R_1}{C_0} + \varepsilon \frac{R_2}{C_0},$$

$$\frac{dR_j}{d\tau} = \frac{M}{C_0}(R_{j-1} - R_j) - \frac{\varepsilon}{C_0}(R_j - R_{j+1}); \quad j = 1,2,... \tag{1}$$

$$\frac{dM}{d\tau} = -M + \varepsilon. \tag{2}$$

где C_0 – начальная концентрация катализатора $\varepsilon = k_g/k_p$ отношение константы скорости деполимеризации к константе скорости роста цепей (равновесная концентрация мономера), $d\tau = K_p C_0\, dt$ – приведенное время.

Поскольку j изменяется в пределах от 1 до ∞, то указанная модель подразумевает проведение расчетов при $j_{max} \to \infty$. Данное условие является предельным и недостижимым в практических расчетах. Поэтому для проведения расчетов за реальный промежуток времени нами было предложено [1] ввести в программу ограничение (3), определяющее значение максимальной длины расчетной цепи (L),

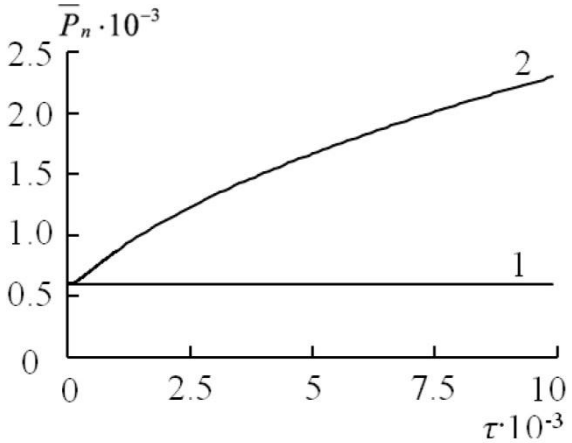
$$R_{L+1} = 0, \tag{3}$$

и критерий (4), обеспечивающий необходимый уровень точности расчета ММР:

$$\frac{\overline{P}_{(n,w,z)}(j+1) - \overline{P}_{(n,w,z)}(j)}{\overline{P}_{(n,w,z)}(j+1)} < \delta, \tag{4}$$

где δ – ошибка расчета.

Однако, как показал дальнейший анализ математической модели 1, использование только условий (3) и (4) не обеспечивает достоверность получаемых результатов. В частности, уже при достаточно небольших значениях τ наблюдается необоснованный рост $\overline{P}_n$ по сравнению с теоретической зависимостью (рис. 1).



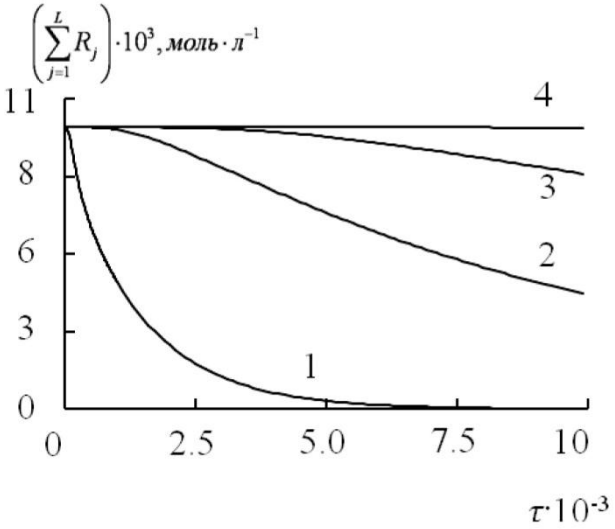
M_0 = 10 моль/л, $C_0 = 10^{-2}$ моль/л, ε = 4 моль/л , δ = 0,001, L = 15000;
$\overline{P}_n$, зависимость: теоретическая (1), расчетная (2)
Рис. 1 – Зависимость $\overline{P}_n$ от τ.

Нами установлено, что рост $\overline{P}_n$ вызван двумя причинами, связанными с недостаточно строгим подходом авторов [2, 3] к математическому описанию кинетической схемы 1.

Первая из них обусловлена тем фактом, что в уравнении 1 изменение концентрации активных центров R_j связано, как с присоединением молекулы мономера к R_{j-1}, так и с расходованием R_j в дальнейшем процессе роста. В том случае, если $j = L$, последнее обстоятельство обуславливает снижение концентрации активных центров ($\sum_{j=1}^{L} R_j$) во времени (рис. 2), поскольку R_{L+1} в модели принято равным нулю и не может быть компенсировано реакцией деполимеризации активных центров R_{L+1}. Данное явление мы предлагаем обозначать термином "выгорание" R_L. В этом смысле модель 1 является "открытой" с правой стороны.

Следует подчеркнуть, что скорость снижения концентрации активных центров тем выше, чем ниже L. Однако увеличение L при данном τ выше определенного значения позволяет стабилизировать $\sum_{j=1}^{L} R_j$ на постоянном уровне, равном

$$\sum_{j=1}^{L} R_j = C_0 \qquad (5)$$



M_0 = 10 моль/л, C_0 = 10^{-2} моль/л, ε = 4 моль/л , δ = 0,001;
L: 1200(1), 3000(2), 5000(3), 10000(4)
Рис. 2 – Зависимость концентрации активных центров от τ

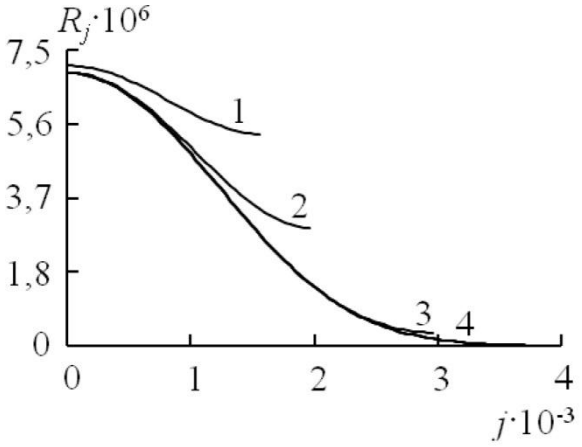
Выполнение условия (5) при выбранном τ свидетельствует о том, что практически рассчитываемая максимальная длина цепи (j_{max}), соответствует ограничению (6), т.е.

$$j_{max} < L \qquad (6)$$

Необходимо отметить, что для расчета ММР и его параметров можно использовать и "закрытую" модель, т.е. уравнение для активных центров R_L может быть представлено в следующем виде:

$$\frac{dR_L}{d\tau} = \frac{M}{C_0} R_{L-1} - \frac{\varepsilon}{C_0} R_L$$

Но в этом случае может возникнуть такая ситуация, когда полный расчет правой ветви распределения станет невозможным, поскольку j_{max} будет равна L и, в силу этого, будет происходить принудительное прекращение расчета (рис. 3).



M_0 =10 моль/л, C_0 = 10^{-2} моль/л, ε = 4 моль/л , δ = 0,001, τ = 1101
L: 1800(1), 2000(2), 3000(3), 5000…15000(4)
Рис. 3 – Зависимость вида функции ММР от L

Оба выше указанных обстоятельства необходимо учитывать при написании программы для расчета ММР и его параметров.

Второй причиной, обусловливающей рост $\overline{P}_n$ (рис. 1), является недостаточно строгий подход авторов [2, 3] к описанию скорости расходования мономера (уравнение (2)), поскольку деполимеризация на активных центрах R_1 протекать не может.

В связи с этим “открытый” вариант математической модели кинетической схемы 1 может быть представлен в следующем виде:

Математическая модель 2

$$\frac{dR_1}{d\tau} = -\frac{M \cdot R_1}{C_0} + \varepsilon \frac{R_2}{C_0},$$

$$\frac{dR_j}{d\tau} = \frac{M}{C_0}(R_{j-1} - R_j) - \frac{\varepsilon}{C_0}(R_j - R_{j+1}); \quad j = 1,2...L-1$$

$$\frac{dR_L}{d\tau} = \frac{M}{C_0}(R_{L-1} - R_L) - \frac{\varepsilon}{C_0} R_L,$$

$$\frac{dM}{d\tau} = -\frac{M\left(\sum_{j=1}^{L-1} R_j\right)}{C_0} + \frac{M_p\left(\sum_{j=2}^{L} R_j\right)}{C_0}.$$

Проведенный нами расчет ММР полимера и его параметров в рамках модели 2 свидетельствует о том, что при соблюдении условия (6) в ходе процесса полимеризации и после достижения равновесия при любых τ выполняется равенство (5), а значение $\overline{P}_n$ строго определяется теоретической зависимостью $\overline{P}_n = (M_0 - M)/C_0$.

Список литературы

1. *А.А. Хасанов, В.А. Ефимов, Ж.С. Жулева* Некоторые методологические аспекты расчета молекулярно-массового распределения // Научно-технический вестник Поволжья. – 2012. – №6. – С.

2. *Тоноян А.О., Давтян С.П., Розенберг Б.А., Иржак В.И.* Молекулярно-весовое распределение при обратимости роста живых цепей // ДАН СССР. – 1970. – Т. 193. № 4. – С. 802–804.

3. *Розенберг Б.А., Иржак В.И., Ениколопян Н.С.* Межцепной обмен в полимерах. – М.:Химия, 1975. – 240 с.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

05.22.10

Г.В. Абакумов к.т.н., М.С. Данильченко, А.Н. Макарова

Тюменский государственный нефтегазовый университет,
Институт транспорта, кафедра сервиса автомобилей и технологических машин,
Тюмень, eom@tsogu.ru

КОРРЕКТИРОВАНИЕ НОРМАТИВОВ РЕСУРСА АВТОМОБИЛЬНЫХ ШИН С УЧЕТОМ ФАКТОРОВ, ОЦЕНИВАЕМЫХ КАЧЕСТВЕННЫМИ ПРИЗНАКАМИ

В статье рассматривается вопрос оценки ресурса элементов автомобилей при использовании в переменных условиях. Предложена модель для решения задачи корректирования нормативов в зависимости от факторов, оцениваемых качественными признаками. Приведен расчет параметров модели на примере шин автомобилей Урал.

Ключевые слова: *корректирование нормативов ресурса, факторы условий эксплуатации, автомобильные шины.*

Долговечность автомобиля и его элементов существенно зависит от условий эксплуатации. Для учета этого влияния разработаны и используются различные методики корректирования нормативов технической эксплуатации. Но переменный характер условий эксплуатации учитывается в этих методиках недостаточно. В то же время трудно найти автомобиль, работающий в постоянных условиях. Например, нет автомобилей, эксплуатируемых исключительно в первой категории условий эксплуатации. Кроме того, ряд факторов трудно оценить количественно. Например, наличие прицепа (два варианта: «с прицепом»; «без прицепа»), условия движения (три варианта: «в городе»; «в пригороде»; «за городом»), дорожные условия (асфальтобетон, щебень, грунт). Такие факторы можно назвать качественными и оценить только долю наработки, реализованной в тех или иных условиях.

Долговечность шин существенно зависит от многих факторов [1, 2]. Наиболее важными из них являются условия эксплуатации, техническое состояние автомобиля и качество вождения. В ряде исследований [3, 4, 5] установлены закономерности влияния основных факторов на ресурс шин, но при этом не учитывается, что автомобили используются в переменных условиях. В некоторых случаях учитываются средние значения показателей факторов, но это не совсем корректно.

Для решения задачи корректирования нормативов в зависимости от факторов, оцениваемых качественными признаками, представим *i*-ю реализацию ресурса в виде суммы

$$L_i = L_1\delta_{1,i} + L_2\delta_{2,i} + \ldots + L_m\delta_{m,i} \text{ или } L_i = \sum_{j=1}^{m} L_j\delta_{j,i}, \qquad (1)$$

где L_j – ресурс элемента автомобиля в *j*–х условиях эксплуатации;

$\delta_{j,i}$ – доля наработки *i*–го элемента в *j*–х условиях эксплуатации.

В случае эксплуатации элемента в условиях двух типов

$$L_i = L_1\delta_{1,i} + L_2\delta_{2,i}. \qquad (2)$$

Задача сводится к определению численных значений L_1 и L_2. Воспользуемся для решения этой задачи методом наименьших квадратов. В соответствие с ним составим систему уравнений:

$$\begin{cases} \sum \delta_{1,i}^2 \cdot L_1 + \sum \delta_{1,i} \cdot \delta_{2,i} \cdot L_2 = \sum \delta_{1,i} \cdot L_i \\ \sum \delta_{1,i} \cdot \delta_{2,i} \cdot L_1 + \sum \delta_{2,i}^2 \cdot L_2 = \sum \delta_{2,i} \cdot L_i. \end{cases} \quad (3)$$

Решая эту систему, получим значения L_1 и L_2:

$$L_1 = \frac{\begin{vmatrix} \sum \frac{L_i}{\delta_{1,i}} & \sum \frac{\delta_{2,i}}{\delta_{1,i}} \\ \sum \frac{\delta_{2,i} L_i}{\delta_{1,i}^2} & \sum \left(\frac{\delta_{2,i}}{\delta_{1,i}} \right)^2 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} n & \sum \frac{\delta_{2,i}}{\delta_{1,i}} \\ \sum \frac{\delta_{2,i}}{\delta_{1,i}} & \sum \left(\frac{\delta_{2,i}}{\delta_{1,i}} \right)^2 \end{vmatrix}} = \frac{\sum \frac{L_i}{\delta_{1,i}} \sum \left(\frac{\delta_{2,i}}{\delta_{1,i}} \right)^2 - \sum x_i \frac{L_i}{\delta_{1,i}} \sum \frac{\delta_{2,i}}{\delta_{1,i}}}{n \sum \left(\frac{\delta_{2,i}}{\delta_{1,i}} \right)^2 - \sum \frac{\delta_{2,i}}{\delta_{1,i}} \sum \frac{\delta_{2,i}}{\delta_{1,i}}} \quad (4)$$

$$L_2 = \frac{\begin{vmatrix} n & \sum \frac{L_i}{\delta_{1,i}} \\ \sum \frac{\delta_{2,i}}{\delta_{1,i}} & \sum \frac{\delta_{2,i} L_i}{\delta_{1,i}^2} \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} n & \sum \frac{\delta_{2,i}}{\delta_{1,i}} \\ \sum \frac{\delta_{2,i}}{\delta_{1,i}} & \sum \left(\frac{\delta_{2,i}}{\delta_{1,i}} \right)^2 \end{vmatrix}} = \frac{n \sum \frac{\delta_{2,i} L_i}{\delta_{1,i}^2} - \sum \frac{\delta_{2,i}}{\delta_{1,i}} \sum \frac{L_i}{\delta_{1,i}}}{n \sum \left(\frac{\delta_{2,i}}{\delta_{1,i}} \right)^2 - \sum \frac{\delta_{2,i}}{\delta_{1,i}} \sum \frac{\delta_{2,i}}{\delta_{1,i}}} \quad (5)$$

Выше описано решение для наиболее простого случая. В случае m типов условий эксплуатации система имеет вид:

$$\begin{cases} \sum \delta_{1,i}^2 \cdot L_1 + \sum \delta_{2,i} \cdot \delta_{1,i} \cdot L_2 + \ldots + \sum \delta_{m,i} \cdot \delta_{1,i} \cdot L_m = \sum \delta_{1,i} \cdot L_i \\ \sum \delta_{1,i} \cdot \delta_{2,i} \cdot L_1 + \sum \delta_{2,i}^2 \cdot L_2 + \ldots + \sum \delta_{m,i} \cdot \delta_{2,i} \cdot L_m = \sum \delta_{2,i} \cdot Li \\ \ldots \\ \sum \delta_{1,i} \cdot \delta_{m,i} \cdot L_1 + \sum \delta_{2,i} \cdot \delta_{m,i} \cdot L_2 + \ldots + \sum \delta_{m,i}^2 \cdot L_m = \sum \delta_{m,i} \cdot Li \end{cases} \quad (6)$$

Рассмотрим решение этой задачи на примере шин автомобилей Урал-4320. Автомобили указанной модели предназначены для использования в сложных дорожных условиях. В целом эти условия можно характеризовать долей пробега на дорогах низших типов (грунтовые, щебеночные).

Для оценки влияния дорожных условий на ресурс шин проведен пассивный эксперимент. Получены выборки ресурсов шин автомобилей с различными долями пробега на дорогах низших типов. Доли пробега на дорогах разных типов оценивалась по типичным маршрутам для групп (колонн) автомобилей разных предприятий. Затем по выделенным группам составлялись выборки реализаций ресурсов шин, которые затем обрабатывались с целью расчета статистических характеристик. Графики распределений ресурсов шин представлены на рис. 1а … 1д.

На их основе определены значения L_1 = 106 тыс. км и L_2 = 39 тыс. км. В графическом виде влияние доли пробега автомобилей Урал-4320 по дорогам с низшими типами покрытий на ресурс шин представлено на рис. 2. Уравнение линии регрессии имеет вид:

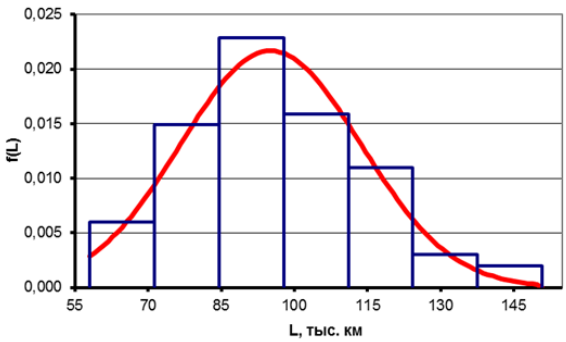
$$L = 106 - 0{,}67 \cdot \delta, \text{ тыс. км.}$$

Статистические характеристики последней модели приведены в табл. 1.

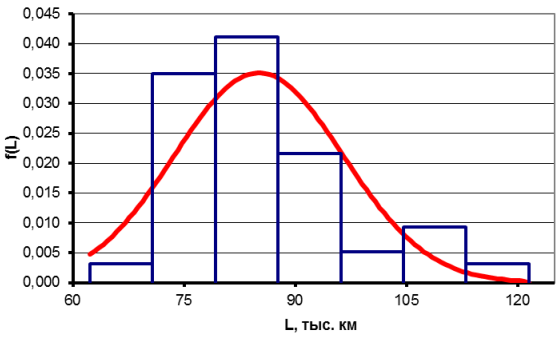
Таблица 1- Статистические характеристики регрессионной модели влияния доли пробега автомобилей Урал-4320 по дорогам с низшими типами покрытий на ресурс шин

Показатели	Численные значения
Коэффициент корреляции	-0,92
Коэффициент детерминации	0,85
Уровень значимости коэффициента корреляции	0,98
Средняя ошибка аппроксимации, %	6,2
Уровень адекватности	0,90

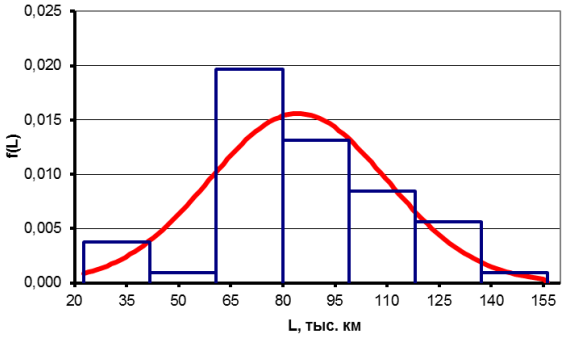
Используя полученные результаты, можно корректировать нормативы ресурса шин автомобилей Урал в зависимости от доли пробега по дорогам с низшими типами покрытий.



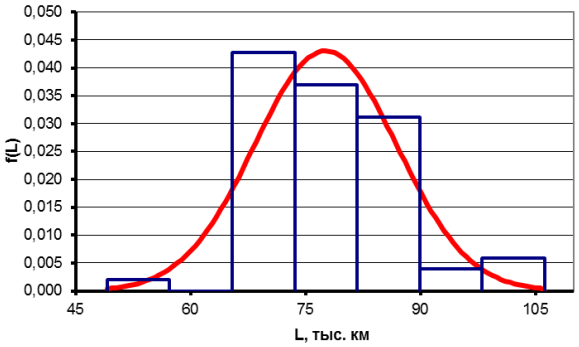
а)



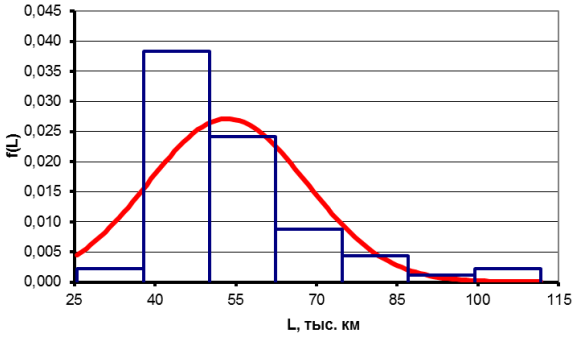
б)



в)



г)



д)

Рис. 1- Распределения ресурсов шин автомобилей Урал-4320. Доля пробега на дорогах низших типов: а – 18 %; б – 23 %; в – 31 %; г – 55 %; д – 68 %

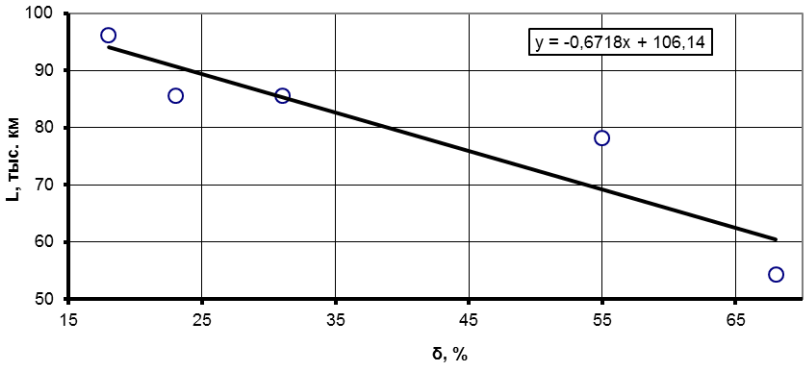


Рис. 2- Влияние доли пробега автомобилей Урал по дорогам с низшими типами покрытий на ресурс шин

Список литературы

1. *Захаров Н.С.* Влияние условий эксплуатации на долговечность автомобильных шин. – Тюмень: ТюмГНГУ, 1997. – 139 с.
2. *Захаров Н.С., Абакумов Г.В., Петров А.И.* Проблема обеспечения надежности шин автомобилей, обслуживающих объекты нефтегазового комплекса // Известия вузов. Нефть и газ. – 1998. – №6. – С. 107-113.
3. *Захаров Н.С.* Влияние сезонных условий на процессы изменения качества автомобилей: Автореферат дис. … д-ра техн. наук. – Тюмень, 2000. – 40 с.
4. *Захаров Н.С., Абакумов Г.В., Вознесенский А.В., Бачинин Л.В., Ракитин А.Н.* Влияние сезонной вариации факторов на интенсивность расходования ресурсов при эксплуатации транспортно-технологических машин // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2006. – № 1. – С. 75-79.
5. *Резник Л.Г., Захаров Н.С.* Корректирование норм пробега шин // Автомобильный транспорт. – 1988. – №11. – С. 29-31.

05.13.06

[1]Р.И. Адгамов, [2]С.В. Дмитриев, [3]Т.Н. Каримов, [4]А.Х. Хайруллин

[1]Казанский национальный исследовательский технический университет (КНИТУ-КАИ) им. А.Н. Туполева, институт авиации и наземного транспорта, кафедра технологии машиностроительных производств, Казань

[2]Филиал Казанского (Приволжского) федерального университета (КФУ) в городе Набережные Челны, автомеханический факультет, кафедра дизайн и искусство интерьера, Набережные Челны

[3]Филиал Казанского (Приволжского) федерального университета (КФУ) в городе Набережные Челны, факультет автоматизации и прогрессивных технологий, кафедра прикладная информатика и управление, Набережные Челны

[4]Филиал Казанского (Приволжского) федерального университета (КФУ) в городе Набережные Челны, факультет автоматизации и прогрессивных технологий, кафедра автоматизация и информационные технологии, Набережные Челны

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО МНОГОНОМЕНКЛАТУРНОГО ПРОИЗВОДСТВА В МАШИНОСТРОЕНИИ С УЧЕТОМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ВНУТРЕННИХ ФАКТОРОВ

В работе представлены результаты исследований математической модели оценки производительности автоматизированного станочного комплекса с учетом внутреннего взаимодействия факторов производства при широком диапазоне изменения исходных проектных данных многономенклатурного производства в машиностроении.

Ключевые слова: *автоматизация технологических процессов, производительность, математическое моделирование, теория массового обслуживания, внутренние факторы производства.*

В работах [1,2,3] рассмотрены математическая модель и даны оценки производительности машиностроительного автоматизированного станочного комплекса (АСК) при централизованной системе управления и с горячим резервированием системы управления. Сохраняя далее принятые в указанных работах обозначения величин, и рассмотрения переходных и нагрузочных характеристик АСК (рис.3,4[2], рис.1,2 [3]) можно сделать выводы, согласующиеся с данными эксплуатации реально действующих АСК.

1. При увеличении степени централизации системы её «информационная инерционность» увеличивается, что проявляется в увеличении постоянной времени переходного процесса состояний системы.

2. Целесообразна ритмичная работа автоматизированного производственного участка, так как при неравномерном поступлении заказов на изготовление деталей возможны значительные простои из-за инерционности процессов обслуживания, особенно при низкой исходной надёжности и малом быстродействии устройства управления.

3. При исправном оборудовании время переходного процесса сокращается по мере увеличения общего быстродействия системы управления по отношению к интенсивности потока заявок на обслуживание станков, т.е. при увеличении отношения μ_c/λ_c.

4. Для каждого значения μ_c/λ_c имеется определенное значение m, при котором использование системы оказывается оптимальным как с точки зрения загрузки устройства управления, так и с точки зрения использования технологического оборудования. Это

значение m соответствует значению $m_{1,0} = 1$ при котором устройство управления постоянно загружено, а вероятность образования очереди близка к нулю. При $m_{1,0} < 1$ электронный комплекс недогружен и часть времени работает в режиме ожидания, а при $m_{1,0} > 1$ он перегружен и постоянно имеется часть станков, простаивающих в ожидании обслуживания.

Следует отметить, что и в оптимальных в указанном смысле структурах имеют место незапланированные простои технологического оборудования из-за возможного наложения потоков заявок от разных станков, но суммарная величина задержек в этом случае невелика. В других условиях, когда допускаются задержки и простои оборудования или стоимость работы станка в единицу времени не является определяющей, может оказаться более целесообразной структура системы с некоторой плановой перегрузкой устройства управления.

Из рассмотренных зависимостей могут быть определены приходящееся на один станок среднее время задержек технологического процесса за период времени τ из-за наложения во времени заявок на обслуживание и ожиданий, связанных с запланированной перегрузкой системы управления при её исправной стационарной работе:

$$\tau_{зад} = \frac{m_{0,1}(m) - m_{1,0}(1)m}{m}\tau; \qquad (1)$$

суммарное время простоев системы из-за неравномерности поступления заявок на обслуживание и недогрузки

$$\tau_{пр} = (1 - m_{0,1}(1)m)\tau; \qquad (2)$$

среднее время ожидания системой заявок на обслуживание, характеризующее запланированную степень загрузки системы

$$\tau_{загр} = (1 - m_{0,1}(m))\tau; \qquad (3)$$

причём значения $\tau_{пр} > 0$, $\tau_{загр} > 0$ соответствуют недогрузке системы управления, а $\tau_{пр} < 0$, $\tau_{загр} < 0$ - перегрузке системы управления.

В работе [3] на основе анализа узла графа состояний системы из n устройств управления с отказами и восстановлением m исправно функционирующих станков (рис.3 [3]) аналитически получены важные для практического проектирования эксплуатационные характеристики: коэффициент загрузки бригад по обслуживанию и ремонту управляющего оборудования, коэффициент использования устройств управления, коэффициент загрузки станков (соотношения (5), (7), (9) [3]).

Учитывая, что станки также имеют конечную надёжность, следует при окончательной планировке АСК соответственно увеличить их количество с учётом статистической надёжности и простоев во время планово-предупредительного обслуживания:

$$m' = m/(1 - P_n), \qquad (4)$$

где P_n - средняя вероятность потерь технологического времени по причине отказов и плановых простоев одного комплекта станочного оборудования с учётом восстановления. Возможен также и другой вариант учёта надёжности станочного оборудования - за счёт соответствующего уменьшения величины интенсивности потока заявок на обслуживание:

$$\lambda_c = \lambda_c/(1 - P_n), \qquad (5)$$

В этом случае найденные из аналитической модели АСК эксплуатационные показатели (4) и (5) будут отражать суммарное действие всех факторов производства, но их внутреннее взаимодействие остаётся скрытым. При необходимости детальной оценки влияния внутренних факторов производства, например надёжности технологического оборудования, на эксплуатационные параметры автоматизированного производства необходимо дополнить граф состояний новыми ветвями, характеризующими интенсивности потоков отказов и восстановления технологического оборудования. На рисунке 1 показан фрагмент такого

графа, где через $\lambda_{об}$ и $\mu_{об}$ обозначены, соответственно, средние интенсивности потоков отказов и восстановления станков в i -ом состоянии системы, причём

$$\kappa_i = \{ \begin{matrix} \kappa_p & если & i \geq \kappa_p \\ i & если & i < \kappa_p \end{matrix} \tag{6}$$

где κ_p - общее число бригад по ремонту технологического оборудования.

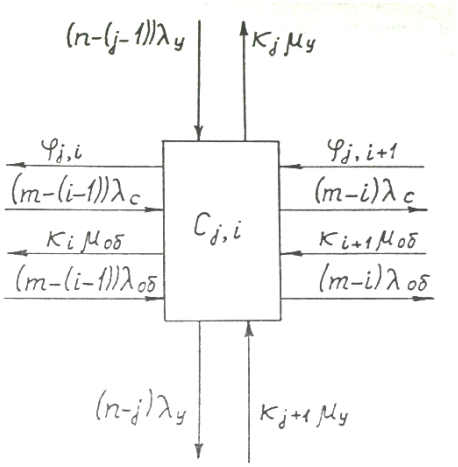


Рисунок 1. Узел графа состояний системы из n устройств управления и m станков с отказами и восстановлением.

В этом случае система уравнений (3)[3] с учётом введенных ранее обозначений и ограничений, преобразуется к виду:

$$dP_{j,i}(\tau)/d\tau = (m-(i-1))(\lambda_c - \lambda_{об})P_{j,i-1}(\tau) + (\varphi_{j,i+1} + \kappa_{i+1}\mu_{об})P_{j,i}(\tau) -$$
$$-((n-j)\lambda_y + \kappa_j\mu_y + \varphi_{j,i} + (m-i)(\lambda_c - \lambda_{об})\kappa_j\mu_{об})P_{j,i}(\tau) +$$
$$+\kappa_{j+1}\mu_y P_{j+1,i}(\tau) + \varphi_{j,i+1}P_{j,i+1}(\tau) + (n-(j-1)\lambda_y P_{j-1,i}(\tau),$$
$$\text{где } i = \overline{0,m};\ j = \overline{0,n};\ \sum_{j=0}^{n}\sum_{i=0}^{m} P_{j,i}(\tau) = 1. \tag{7}$$

Средняя загрузка бригад по ремонту технологического оборудования.

$$\overline{\kappa}_p(\tau) = \sum_{j=0}^{n}\sum_{i=0}^{m} \kappa_i P_{j,i}(\tau) \tag{8}$$

Коэффициент загрузки ремонтных бригад:

$$\xi_p(\tau) = \overline{\kappa}_p(\tau)/\kappa_p \tag{9}$$

Выводы:

1. Показаны соотношения для определения среднего времени возможных задержек технологического процесса, простоев устройства управления и среднего времени ожидания системой заявок на обслуживание при стационарном режиме работы АСК с исправно функционирующим технологическим оборудованием.

2. Предложена модель оценки эксплуатационных характеристик АСК, учитывающая взаимодействие внутренних факторов производства на примере технологического оборудования, с отказами и восстановлением: средней загрузки бригад по ремонту технологического оборудования и коэффициента загрузки ремонтных бригад.

Список литературы

1. *Адгамов Р.И., Дмитриев С.В., Каримов Т.Н., Хайруллин А.Х.* Математическая модель для оценки производительности автоматизированного многономенклатурного производства в машиностроении // Научно-технический вестник Поволжья. - 2012, №6. стр. 68-71
2. *Адгамов Р.И., Дмитриев С.В., Каримов Т.Н., Хайруллин А.Х.* Производительность автоматизированного производственного участка машиностроительного предприятия при централизованной системе управления // Научно-технический вестник Поволжья. - 2012, №6. стр. 72-75.
3. *Адгамов Р.И., Дмитриев С.В., Каримов Т.Н., Хайруллин А.Х.* Оценка производительности автоматизированного производственного участка машиностроительного предприятия с горячим резервированием системы управления // Научно-технический вестник Поволжья. - 2012, №6. стр. 76-79.

05.13.18

А.В. Аминаров, А.С. Андреев, А.Н. Куликова

Ульяновский государственный университет,
факультет математики и информационных технологий,
кафедра информационной безопасности и теории управления,
Ульяновск, AndreevAS@ulsu.ru

ОБ УПРАВЛЕНИИ ДВИЖЕНИЕМ УПРУГОГО ТЕЛА В ВЯЗКОЙ СРЕДЕ[1]

На основе новых результатов об устойчивости функционально-дифференциального уравнения нейтрального типа с ядром Вольтерра решается задача об управлении упругим телом, движущимся в вязкой среде.

Ключевые слова: *функционально-дифференциальное уравнение нейтрального типа, вязкая среда, управление упругим телом, функционал Ляпунова.*

1. Пусть R^n — n-мерное действительное пространство с нормой $|x|$. Для $t \in R^+$ обозначим через B_t векторное пространство действительных непрерывных функций $\varphi:[-t,0] \to R^n$ с нормой $\|\varphi\| = \sup\left(|\varphi(s)|, -t \le s \le 0\right)$, для непрерывной функции $x: R^+ \to R^n$ и каждого $t \in R^+$ примем за функцию $x_t \in B$ функцию $x_t(s) = x(t+s)$, $-t \le s \le 0$, через B обозначим пространство таких функций $\varphi(-\infty, 0] \to R^n$.

Рассмотрим функционально-дифференциальное уравнение нейтрального типа [1, 2] со специальным ядром и специальной правой частью (Вольтерра)

$$\frac{d}{dt}(x(t) - G(t, x_t)) = F(t, x_t), \tag{1.1}$$

где за $x: R^+ \to R^n$ принята некоторая непрерывная функция,

$$G(t, x_t) = \int_{-t}^{0} G_1(t, s, x(t+s))ds,$$

$$F(t, x_t) = F_1(t, x(t)) + \int_{-t}^{0} F_2(t, s, x(t+s))ds$$

и, соответственно, $G_1: R^+ \times R^- \times B_t \to R^n$, $F: R^+ \times R^- \times B_t \to R^n$ есть некоторые непрерывные функции.

Функция $x:[t_0, t_0 + A) \to R^n$ ($t_0 \ge 0, A > 0$) называется решением уравнения (1.1) если выражение $x(t) - G(t, x_t)$ имеет непрерывную производную и на отрезке $[t_0, t_0 + A)$ уравнение (1.1) обращается в тождество.

По отношению к уравнению (1.1) возможны две постановки задачи об определении решения с начальными условиями (задача Коши). По первой постановке решение задается точкой x_0 при $t_0 = 0$. По второй постановке решение для каждого $t_0 \in R^+$ определяется начальной функцией $\varphi \in B_{t_0}$.

[1] Исследование выполнено при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, соглашение 14.B37.21.0373 «Развитие методов и алгоритмов исследования задач об управлении нелинейными механическими системами и компьютерное моделирование управляемого движения системы тел» и соглашение 14.B37.21.0230 «Новые методы аналитической динамики и нелинейной теории управления в задачах разработки и компьютерного моделирования управляемых механических систем».

В дальнейшем, исходя из практической задачи, ограничимся первой постановкой задачи.

Предположим, что функции $G_1(t,s,y)$ и $F_1(t,s,y)$ ограничены, равномерно непрерывны по своим аргументам в области $R^+ \times R^- \times R^n$, для каждого компактного множества $K \subset R^n$ функция $G_1(t,s,y)$ удовлетворяет условию

$$\left|G_1(t_2,s_2,y_2) - G_1(t_1,s_1,y_1)\right| \le N_1\left|t_2 - t_1\right| + N_2\left|s_2 - s_1\right| + \lambda\left|y_2 - y_1\right|, \quad \lambda = const, 0 < \lambda < 1 \qquad (1.2)$$

при всех $(t_2,s_2,y_2),(t_2,s_2,y_2) \in R^+ \times R^- \times K$ для функции $F_1(t,s,y)$ имеет место условие Липшица

$$\left|F_1(t,s,y_2) - F_1(t,s,y_1)\right| \le L\left|y_2 - y_1\right|. \qquad (1.3)$$

При этих условиях для каждой начальной точки $y_0 \in R^n$ существует единственное решение уравнения (1.1).

Пусть $x = x(t)$ есть какое-либо решение уравнения (1.1) с начальной точкой x_0. Точку $p \in R^n$ назовем положительной предельной точкой этого решения, если существует последовательность $t_k \to +\infty$, такая, что $x(t_k) \to p$ при $k \to \infty$. Множество всех таких точек определим как $\omega^+(x_0)$.

Пусть $t_k \to +\infty$ есть какая-либо последовательность. Для функций G_1, F_1 и F_2 можно ввести семейство сдвигов

$$G_1^{(k)} = G_1(t_k + t, t_k + s, x), \quad F_1^{(k)} = F_1(t_k + t, t_k + s, x), \quad F_2^{(k)} = F_2(t_k + t, t_k + s, x).$$

В силу условий (1.1) и (1.2) эти семейства ограничены, равномерно непрерывны и, значит, предкомпактны в некотором пространстве непрерывных функций, определённых в области $R^+ \times R^- \times R^n$.

Соответственно можно ввести совокупности предельных функций G_1^*, F_1^*, F_2^* и определить семейства предельных к (1.1) уравнений

$$\frac{d}{dt}(x(t) - G^*(t,x_t)) = F^*(t,x_t), \qquad (1.4)$$

где

$$G^*(t,x_t) = \int_{-\infty}^{0} G^*(t,s,x(t+s))ds,$$

$$F^*(t,x_t) = F_1^*(t,x(t)) + \int_{-\infty}^{0} F_2^*(t,s,x(t+s))ds,$$

функции G^*, F_1^*, F_2^* определяются предельным переходом

$$G^*(t,x) = \lim_{k\to\infty} G(t_k + t, x), \quad F_1^*(t,x) = \lim_{k\to\infty} F_1(t_k + t, x), \quad F_2^* = \lim_{k\to\infty} F_2(t_k + t, x)$$

по возможным последовательностям $t_k \to +\infty$.

Связь между решениями уравнений (1.1) и (1.4) определяется следующей леммой.

Лемма 1.1 Пусть $x = x(t), x(0) = x_0$, какое-либо решение уравнения (1.1), определенное и ограниченное компактом $K \subset R^n$ при всех $t \ge 0$, и пусть (1.4) есть какое-либо предельное к (1.1) уравнение, определяемое некоторой последовательностью $t_k \to +\infty$. Тогда существует подпоследовательность $k_l \to \infty$, такая, что $x(t_{k_l} + t) \to x^*(t)$, где $x^*(t)$ есть некоторое двустороннее решение (т. е. определенное при $t \in (-\infty;+\infty)$ решение уравнения (1.4)).

Из леммы 1.1 имеем следующую теорему.

Теорема 1.1 Пусть $x = x(t), x(0) = x_0$, есть решение уравнения (1.1), ограниченное при всех $t \ge 0$ некоторым компактом $K \subset R^n$. Тогда для каждой точки $p \in \omega^+(x_0)$ найдется предельное уравнение (1.4) и его решение $x^*(t)$, такое, что $x^*(0) = p$ и $\{x^*(t) : t \in R\} \subset \omega^+(x_0)$.

Допустим, что $G(t,0)=0$, $F_1(t,0)=0$, $F_2(t,0)=0$, так что уравнение (1.1) имеет нулевое решение $x\equiv 0$.

Рассмотрим задачу об устойчивости этого решения на основе функции Ляпунова вида $V=V(t,y)$, $V:R^+\times R^n\to R$, для которой существует производная в силу уравнения (1.1), определяемая соотношением

$$\dot{V}(t,x_t)=\lim_{h\to 0}\sup\frac{1}{h}\Big(V\big(t+h,x\big(t+h-G(t+h,x_{t+h})\big)\big)-V\big(t+h,x(t-G(t,x_t))\big)\Big),$$

при этом для производной вдоль каждого решения уравнения (1.1) имеет место следующая оценка

$$\dot{V}(t,x_t)\le -W(t,x_t), \tag{1.5}$$

$$W(t,x_t)=W_1(t,x(t))+\int_{-\infty}^{0}W_2(t,s,x(t+s))ds,$$

$W_1(t,x)$ и $W_2(t,s,x)$ удовлетворяют условиям аналогичным относительно функций G_1 и G_2, так что можно ввести соответствующее множество предельных функционалов

$$W\left(t,x_t\right)=W_1^*(t,x(t))+\int_{-\infty}^{0}W_2^*(t,s,x(t+s))ds.$$

Можно доказать следующее достаточное условие устойчивости нулевого решения уравнения (1.1).

Теорема 1.2 Предположим, что для уравнения (1.1) можно найти функцию $V=V(t,y)$, $h_1\left(|y|\right)\le V(t,y)\le h_2\left(|y|\right)$, производная которой в силу уравнения (1.1) удовлетворяет условию

$$\dot{V}(t,x_t)\le -h_3\left(|x(t)-G(t,x_t)|\right).$$

Тогда решение $x=0$ уравнения (1.1) равномерно асимптотически устойчиво.

Теорема 1.3 Предположим, что для функции её производная в силу уравнения (1.1) удовлетворяет неравенству (1.5), при этом множество $\left\{|x(t)-G^*(t,x_t)|\ge C_0>0\right\}\bigcap\left\{W^*(t,x_t)=0\right\}$ не содержит решений соответствующего предельного уравнения (1.4).

Тогда решение $x=0$ уравнения (1.1) равномерно асимптотически устойчиво.

Теоремы 1.2 и 1.3 дополняют и развивают для уравнения (1.1) соответствующие результаты монографии [3].

2. Строгий учёт влияния нестационарности обтекания объектов при малых эволюциях тела и деформациях его поверхности в сплошной среде (воздух, вода) приводит к системам линейных интегро-дифференциальных уравнении с «аэродинамической памятью» (немарковского типа) [4, 5]. Это связано с тем, что неустановившееся движение объекта в сплошной среде сопровождается сходом с него аэродинамического следа, который и является хранителем предыстории движения [1, 4–6]. Тем самым, установлен большой и практически важный класс динамических систем, поведение которых описывается указанными интегро-дифференциальными уравнениями.

.С использованием интегралов Дюамеля и принципа суперпозиции замкнутые линейные уравнения возмущённого движения летательного аппарата представляются в виде [4-7]:

$$\mu\left(\ddot{q}+2\omega\chi\dot{q}+\omega^2 q\right)-C^q q-C^{\dot{q}}\dot{q}-\int_0^t I_C^q(\tau)\dot{q}(t-\tau)d\tau-$$

$$-\int_0^t I_C^{\dot{q}}(\tau)\ddot{q}(t-\tau)d\tau=C^\delta\delta+C^{\dot{\delta}}\dot{\delta}+C^\Delta\Delta+\int_0^t I_C^\delta(\tau)\dot{\delta}(t-\tau)d\tau+ \tag{2.1}$$

$$+\int_0^t I_C^{\dot{\delta}}(\tau)\ddot{\delta}(t-\tau)d\tau+\int_0^t I_C^\Delta(\tau)\dot{\Delta}(t-\tau)d\tau.$$

Здесь C^q, $C^{\dot{q}}$ — квадратные числовые матрицы размерностью n; I_C^q, $I_C^{\dot{q}}$ — квадратные функциональные матрицы размерностью n; C^δ, $C^{\dot{\delta}}$, I_C^δ, $I_C^{\dot{\delta}}$ и C^Δ, I_C^Δ — аналогичные прямоугольные матрицы размерностью $\left(n,n_\delta\right)$ и $\left(n,n_\Delta\right)$ соответственно, где n_δ и n_Δ — размерности векторов δ и Δ.

Уравнения (2.1) применяются для исследования реакции летательного аппарата на детерминированные возмущающие и управляющие воздействия, а также для исследования устойчивости движения летательного аппарата без систем управления. Особенностью уравнений (2.1) является таблично-аналитическое задание ядер. Для изучения движения летательного аппарата совместно с системами управления при полёте в реальных условиях, т.е. при наличии турбулентности атмосферы, система (2.1) дополняется уравнениями законов управления, приводов рулевых поверхностей, датчиков, а также уравнениями фильтров, формирующих стационарные случайные процессы ошибок датчиков и составляющих скорости турбулентного ветра.

Приводы рулевых поверхностей в зависимости от их характеристик и режима работы описываются линейными или нелинейными дифференциальными уравнениями вида

$$\dot{\tilde{\delta}}=\tilde{\varphi}\left(\tilde{\delta},u\right), \tag{2.2}$$

Здесь $\tilde{\delta}^T=\left(\delta^T,\dot{\delta}^T,\ddot{\delta}^T,\ldots\right)$ — вектор состояния моделей приводов, u — вектор входных сигналов приводов.

Пусть $q=q(t)$ есть режим движения аппарата, создаваемый управляющими поверхностями при $u=u(t)$ в виде зависимости $\delta=\delta(t)$ при действии вектора $\Delta=\Delta(t)$.

Введем отклонения $x=\delta-\delta(t)$, $y=q-q(t)$, $v=v-v(t)$. Из (2.1) и (2.2) имеем следующие уравнения в отклонениях

$$\mu(\ddot{y}+2\omega x\dot{y}+\omega^2 y)-C^q y-C^{\dot{q}}\dot{y}-\int_{-t}^0 I_1^q(\tau)\dot{y}(t+\tau)d\tau-\int_{-t}^0 I_2^{\dot{q}}(\tau)\ddot{y}(t+\tau)d\tau=$$

$$=C^\delta x+C^{\dot{\delta}}\dot{x}+\int_{-t}^0 I_1^\delta(\tau)\dot{x}(t+\tau)d\tau+\int_{-t}^0 I_2^{\dot{\delta}}(\tau)\ddot{x}(t+\tau)d\tau,$$

$$\dot{x}=f(t,x,y,u),\quad f(t,0,0,0)\equiv 0. \tag{2.3}$$

Поставим задачу определения обратной связи $v=v(t,x,y)$, обеспечивающей асимптотическую устойчивость решения $x=y=0$ системы (2.3) или стабилизацию заданного закона движения $q=q(t)$.

Наиболее простым случаем является представление функции *f*, входящей в (2.3) в виде линейной относительно входных сигналов *u*, при этом полагаем структуру обратной связи полной, так что $n_1=n$ и обратная связь может быть сведена к виду

$$\dot{x}=u. \tag{2.4}$$

Положим, что входные сигналы формируются релейным образом

$$u_k=-\alpha_k\,\mathrm{sign}\left((x+Py)_k\right),\quad \alpha_k>0,\quad P\in R^{n\times n}, \tag{2.5}$$

$(x+Py)_k$ — есть *k*-я составляющая вектора $x+Py$.

В соответствии с теоремой 1.2 задача об устойчивости нулевого решения системы (2.1)–(2.5) может быть решена на основе функционала Ляпунова

$$V = \left(\mu \dot{y}(t) - \int_{-t}^{0} I_2^{\dot{q}}(\tau)\dot{y}(t+\tau)d\tau - \int_{-t}^{0} I_2^{\dot{\delta}}(\tau)P\dot{y}(t+\tau)d\tau \right)' D_1 \times$$

$$\times \left(\mu \dot{y}(t) - \int_{-t}^{0} I_2^{\dot{q}}(\tau)\dot{y}(t+\tau)d\tau - \int_{-t}^{0} I_2^{\dot{\delta}}(\tau)P\dot{y}(t+\tau)d\tau \right) + \frac{1}{2}(x+Py)^2,$$

где $D_1 \in R^{n\times n}$ есть некоторая положительно-определенная матрица.

Для производной $\dot{V}$ в силу (2.1)–(2.5) при оценке $\dot{V} \le -W \le 0$ строятся соответствующие предельные уравнения с составляющими вида

$$\int_{-\infty}^{0} I_1^{q}(\tau)\dot{y}(t+\tau)d\tau.$$

Полученные условия представляют собой условия управляемости летательного аппарата в виде упругого тела при его движении в упругой среде.

Список литературы

1. *Хейл Дж.* Теория функционально-дифференциальных уравнений. – М.: Наука, 1984. – 421 с.
2. *Колмановский В.Б., Носов В.Р.* Устойчивость и периодические режимы регулируемых систем с последействием. – М.: Наука, 1984. – 448 с.
3. *Павликов С.В.* Метод функционалов Ляпунова в задачах устойчивости / С.В. Павликов – Набережные Челны: Ин-т управления, 2006.
4. *Белоцерковский С.М.* Математические модели нестационарной линейной аэроавтоупругости / С.М. Белоцерковский // Доклады АН СССР. – 1972. – Т. 207, № 3.
5. *Табачников В.Г.* Крыло в нестационарном потоке газа. – М.:Наука, 1971. – 768 с.
6. *Белоцерковский С.М., Кочетков Ю.А., Красовский А.А., Новицкий В.В.* Введение в аэроупругость. – М.: Наука, 1980. – 384 с.
7. *Лурье А.И.* Теория упругости. М.: Наука. 1980. 513с.

05.13.18

А.С. Андреев, В.В. Благодатнов, А.Р. Кильметова

Ульяновский государственный университет,
факультет математики и информационных технологий,
кафедра информационной безопасности и теории управления,
Ульяновск, AndreevAS@ulsu.ru

УРАВНЕНИЯ ВОЛЬТЕРРА В МОДЕЛИРОВАНИИ ПИ- И ПИД-РЕГУЛЯТОРОВ[1]

В работе дано развитие метода функционалов Ляпунова в исследовании устойчивости функционально-дифференциального уравнения типа Вольтерра. На этой основе разработаны методики построения ПИ- и ПИД-регуляторов в задачах управления механическими системами.

Ключевые слова: *функционально-дифференциальное уравнение типа Вольтерра, управляемая механическая система, функционал Ляпунова.*

1. Постановка задачи. Рассмотрим управляемую механическую систему, описываемую уравнениями Лагранжа

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}}\right)-\frac{\partial T}{\partial q}=U, \tag{1.1}$$

где $q=(q_1,q_2,\ldots,q_n)'$ — вектор обобщенных координат, $T=\frac{1}{2}(\dot{q})'A(q)\dot{q}$ — кинетическая энергия ($A\in R^{n\times n}$ — положительно-определенная матрица), U — управления.

Регуляторы вида

$$U_1=-F\dot{q}+\int_0^t C(t-s)q(s)ds,\quad U_2=-C_1q+\int_0^t C_1(t-s)q(s)ds \tag{1.2}$$

принято называть соответственно ПИД- и ПИ-регуляторами [1].

Моделирование уравнений (1.1) с управлениями (1.2) приводит к необходимости качественного анализа функционально-дифференциальных уравнений типа Вольтерра [2].

2. Качественные свойства уравнения Вольтерра. Целью данного подраздела является построение предельных уравнений для выявления свойств положительного предельного множества решения.

Рассмотрим нелинейное интегро-дифференциальное уравнение Вольтерра

$$\dot{x}(t)=h(t,x)+\int_{t_0}^t k(t,s,x(s))ds, \tag{2.1}$$

$x\in R^n$ - n-мерному линейному пространству с некоторой нормой $|x|$, $t_0\in R^+=[0,+\infty[$, $t\ge t_0$, h,k - непрерывные функции, определенные соответственно в областях $R^+\times G$, $D\times G$, $D=\{(t,s):\ 0\le t<+\infty;\ 0\le s\le t\}$, G есть некоторая область, содержащаяся в R^n, $D\subset R^n$.

Для уравнения (2.1) возможны две различные постановки определения решения.

В первом случае решение определяется для начальной точки $(t_0,\varphi)\in R^+\times C(t_0)$, где $C(t_0)$

[1] Исследование выполнено при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, соглашение 14.B37.21.0373 «Развитие методов и алгоритмов исследования задач об управлении нелинейными механическими системами и компьютерное моделирование управляемого движения системы тел» и соглашение 14.B37.21.0230 «Новые методы аналитической динамики и нелинейной теории управления в задачах разработки и компьютерного моделирования управляемых механических систем».

есть банахово пространство непрерывных функций, заданных на отрезке $[-t_0,0]$ с соответствующей нормой $\|\varphi\| = \sup(|\varphi(s)|, \ -t_0 \le s \le 0)$. Во втором, более частном, случае решение определяется для начальной точки $(t_0, x_0) \in R^+ \times G$.

Допустим, что функции h и k непрерывны. Таким образом, для каждого начального условия $(t_0, \varphi) \in R^+ \times C(t_0)$ существует решение $x = x(t, t_0, \varphi)$ уравнения (2.1), определенное на интервале $[0, \alpha[$, $(\alpha > t_0)$, при этом $x(t, t_0, \varphi) = \varphi(t)$ для $t \in [0, t_0]$ [3,4]. Здесь $C(t_0)$ есть банахово пространство непрерывных функций $\varphi : [0, t_0] \to G$ с нормой $\|\varphi\| = \sup\limits_{0 \le s \le t_0} |\varphi(s)|$.

Допустим что:

1) функция $h(t,x)$ локально липшицева, $(\forall (t_0, x_0) \in G)$ $(\forall l > 0)$ $(\exists L > 0)$ $(\forall (x,y) : |x - x_0| \le l$, $|y - y_0| \le l$, $|t - t_0| < l), |h(t,x) - h(t,y)| \le L|x - y|$

2) функция $k(t,s,x)$ удовлетворяет условиям ($\forall$ компакта $K \subset G$) $(\forall l > 0)$ $(\exists L > 0)$ $(\forall (x,y) \in K$, $|x - y| \le l$, $\forall (s,t) : 0 \le s \le t \le l)$, $|k(t,s,x) - k(t,s,y)| \le L|x - y|$

3) для каждого $t_0 \in R^+$ существует непустое выпуклое подмножество $B(t_0)$ пр-ва $C(t_0)$, такое что

$$\varphi \in B(t_0) \Rightarrow \int_0^{t_0} k(t,s,\varphi(s))ds \overset{def}{=} q(t, t_0, \varphi)$$

непрерывно по $t \subset [t_0, +\infty[$.

При этих условиях для каждой начальной точки (t_0, φ), $t_0 \in R^+$, $\varphi \in B(t_0)$ существует единственное решение уравнения (2.1), определенное на $[0, \alpha[$ [3,4], при этом, если $\alpha < +\infty$, то $\lim\limits_{t \to \alpha^-} d(x(t, t_0, \varphi), \partial G) = 0$, где $d(x(t, t_0, \varphi), \partial G) = \inf\limits_{y \in \partial G} |x(t, t_0, \varphi) - y|$.

Важным моментом в построении предельных уравнений является предкомпактность семейства сдвигов правой части уравнений $\{X_\tau(t,x) = X(t + \tau, x), \tau \in R^+\}$ или $\{X_\tau(t, x_\tau) = X(t + \tau, x_\tau), \tau \in R^+\}$ (здесь можно считать $x_\tau \in C(t)$) в некотором функциональном пространстве F. Добавим к предыдущим условиям условия предкомпактности правой части (2.1).

Введем следующие дополнительные предположения.

Предположение 2.1 Функция $h(t,x)$ ограничена и равномерно непрерывна для $(t,x) \in R^+ \times K$, $K \subset G$ $(\forall K \subset G)(\exists M = M(K))$ $(\forall \varepsilon > 0)$ $(\exists \delta = \delta(\varepsilon) > 0)$ $(\forall t_1, t_2 \in R^+ : |t_2 - t_1| \le \delta)$ $(\forall x, y \in K : |x - y| \le \delta) \Rightarrow$ $|h(t,x)| \le M$ $(\forall (t,x) \in K)$, $|h(t_2, y) - h(t_1, x)| \le \varepsilon$.

При этом условии семейство сдвигов $\{h_\tau(t,x) = h(t + \tau, x), \tau \in R^+\}$ предкомпактно в открыто-компактной топологии в некотором функциональном пространстве F_h функций, непрерывных на $R^+ \times G$.

Предположение 2.2 Функция $k(t,s,x)$ ограничена и равномерно непрерывна для $(t,s,x) \in D \times K$, $K \subset G$ $(\forall K \subset G)(\exists M = M(K))$ $(\forall (t,s,x) \in K)$ $(\forall \varepsilon > 0)$ $(\exists \delta = \delta(\varepsilon) > 0)$ $(\forall (t_1, s_1), (t_2, s_2) \in D : |t_1 - t_2| < \delta, |s_1 - s_2| < \delta)$ $(\forall x, y \in K : |x - y| \le \delta) \Rightarrow$

$|k(t,s,x)| \le M$, $|k(t_2, s_2, x_2) - k(t_1, s_1, x_1)| \le \varepsilon$.

При этом условии семейство сдвигов $\{k_\tau(t,s,x) = k(t + \tau, s + \tau, x), \tau \in R^+\}$ предкомпактно в открыто-компактной топологии в некотором функциональном пространстве F_k функций, непрерывных на $D \times G$.

Предположение 2.3. Допустим, что существует непустое выпуклое подмножество B_∞, такое что $\psi:[0;+\infty[\to G$, $\psi\in B_\infty$, если функция $q(t,T,\psi)=\int_0^T k(t,s,\psi(s))ds$, определенная для $0\le T\le t$, равномерно непрерывна по t в области D, и ограничена $|q(t,T,\psi)|\le M$, $\forall t\ge T$ $(\forall\varepsilon>0)$ $(\exists\delta=\delta(\varepsilon)>0)$ $(\forall t_1,t_2: t_1\ge T, t_2\ge T, |t_1-t_2|\le\delta)\Rightarrow|q(t_2,T,\psi)-q(t_1,T,\psi)|<\varepsilon$.

Таким образом, семейство функций $\{q_\tau(t)=q(\tau+t,\tau,\psi),\tau\in R^+\}$ предкомпактно в открыто-компактной топологии в некотором функциональном пространстве F_q функций, определенных на R^+.

Определение 2.1 Пусть $t_n\to+\infty$ есть некоторая последовательность, $\psi\in B_\infty$ — некоторая функция. Из условий (2.5)–(2.7) $\exists t_{n_k}\to+\infty$, $\exists h^*\in F_h$, $k^*\in F_k$, $q^*\in F_q$, такие что $h_{t_{n_k}}\to h^*$ в F_h, $k_{t_{n_k}}\to k^*$ в F_k, $q_{t_{n_k}}\to q^*$ в F_q. Функции h^*,k^*,q^* назовем предельными к (h,k,q), уравнение

$$\dot x(\psi)=h^*(t,x)+\int_0^t k^*(t,s,x(s))ds+q^*(t) \tag{2.2}$$

назовем предельным к (2.1).

В предположениях 2.1-2.3 уравнение (2.1) предкомпактно и ему можно определить семейство предельных уравнений (2.2), при этом q(t) = 0 при второй постановке задачи.

Определение 2.2 Точка $\gamma\in\overline{G}$ есть предельная для решения *x(t)*, если $\exists t_n\to+\infty$,такая что $x(t_n)\to\gamma$ при $n\to\infty$. Множество точек называется положительным предельным множеством $\Omega^+(x(t))$.

Введение уравнений (2.2) позволяет описать следующее свойство инвариантности положительного предельного множества $\Omega^+(x(t))$ решения уравнения (2.1).

Теорема 2.1. Допустим, что выполнены предположения 1) и 2), условие (2.12) и пусть $x(t)$ — какое-либо ограниченное компактом $K\subset G$ решение уравнения (2.1). Тогда для каждой точки $\gamma\in\Omega^+(x(t))\cap G$ существует некоторое уравнение (2.13) и некоторое его решение $y(t):[0,\beta[\to G$, $y(0)=\gamma$, такое, что $y(t)\in\Omega^+(x(t))$ $\forall t\in[0,\beta[$.

3. Развитие метода функционалов Ляпунова в исследовании устойчивости функционально-дифференциальных уравнений типа Вольтерра

Как и для общих фукнционально-дифференциальных уравнений исследование устойчивости уравнений вида (2.1) проводится на основе прямого метода Ляпунова, включающего в себя метод функционалов и метод функций Ляпунова.

Рассмотрим задачу о применении функционалов Ляпунова типа

$$\dot V(t,x_t)=V_1(t,x(t))+\int_0^t V_2(t,s,x(s))ds,$$

где $V_1:R^+\times G\to R$, $V_2:R^+\times D\times G\to R$ есть некоторые непрерывные функции, удовлетворяющие условию существования верхней правосторонней производной $\dot V(t,x_t)\le -W(t,x_t)\le 0$, где функционал W имеет следующий вид

$$W=W_1(t,x(t))+\int_0^t W_2(t,s,x(s))ds,$$

$W_1\ge 0$, $W_2\ge 0$ есть скалярные функции, удовлетворяющие тем же условиям, что и функции $h(t,x)$ и $k(t,s,x)$ из (2.1).

Введем множество [5]

$$\left\{V^*(t,x_t)=V_1^*(t,x(t))+\int_{-\infty}^{t}V_2^*(t,s,x(s))ds=c\right\},$$

$$V_1^*(t,x)=\lim_{t_k\to+\infty}V_1(t_k+t,x),\quad V_2^*(t,s,x)=\lim_{t_k\to+\infty}V_2(t_k+t,t_k+s,x)$$

и предельные функционалы [5]

$$W^*(t,x_t)=W_1^*(t,x(t))+\int_{-\infty}^{t}W_2^*(t,s,x(s))ds,$$

$$W_1^*(t,x)=\lim_{t_k\to+\infty}W_1(t_k+t,x),\quad W_2^*(t,s,x)=\lim_{t_k\to+\infty}W_2(t_k+t,t_k+s,x)$$

Эти построения и теорема 2.1 позволяют вывести следующую теорему об асимптотической устойчивости нулевого решения уравнения (2.1) в предположении его существования $h(t,0)\equiv 0$, $k(t,s,0)\equiv 0$.

Теорема 3.1. Предположим, что:

1) можно найти функционал $V(t,x_t)$, такой, что

$$h_1(|x|)\le V_1(t,x)\le h_2(|x|),\quad V_2(t,s,x)\le h_3(|x|);$$

2) для каждого предельного уравнения (2.13) и соответствующей предельной пары множество $\{V^*(t,x_t)=c_0=const>0\}\cap\{W^*(t,x_t)=0\}$ не содержит решений этого уравнения.

Тогда нулевое решение (2.1) равномерно асимптотически устойчиво.

4. Методики решения задач о стабилизации движений механических систем с ПИ- и ПИД-регуляторами

Обобщенный ПИ-регулятор. Положим, что управление имеет вид:

$$Q_y(t,q_t)=-C_0(t)q(t)+\int_0^t F_0(t,s)q(s)ds$$

Такой регулятор зависит только от координат системы и времени. Положим

$$M(t)=C_0(t)-\int_0^t F_0(t,s)ds.$$

Результат 4.1 Пусть выполняются следующие условия:

1) матрицы $C(t)$ и $F(t,s)$ являются ограниченными симметричными матрицами размерностей $n\times n$ при $t\in R^+$, $0\le s\le t$;

2) матрица $M(t)$ является положительно определенной матрицей, ограниченной и равномерно непрерывной при $t\in R^+$;

3) матрица $F(t,s)$ непрерывно дифференцируема по t и s, равномерно непрерывная при $t\in R^+$,

$$F_0(t,s)\ge 0,\quad \frac{\partial F_0(t,s)}{\partial s}-\frac{\partial F_0(t,s)}{\partial t}\ge\alpha_0 E,\quad \alpha_0=const>0,$$

$$\dot M(t)\le 0,\quad t\in R^+,\quad 0\le s\le t$$

Тогда управление вида (4.1) решает задачу о равномерной асимптотической устойчивости положения равновесия $q=\dot q=0$ системы (1.1).

Обобщенный ПИД-регулятор. Предположим теперь, что управление имеет вид ПИД (пропорционально-интегрально-дифференциального)-регулятора:

$$Q(t,q_1,\dot q)=-F(t)\dot q(t)-\int_0^t C_0(t,s)q(s)ds. \tag{4.2}$$

Результат 4.2 Пусть матрицы $F(t)$ и $C(t,s)$ являются положительно определенными матрицами, ограниченными и равномерно непрерывными при $t\in R^+$, $s\in[-h,0]$, причем:

$$\max_{i,j} |C_{ij}| \le L = const, \qquad f > Lh^2 n,$$

$$\int_0^t \frac{\partial C_0(t,s)}{\partial t} ds \le 0$$

(здесь f есть минимальное собственное значение матрицы F).

Тогда управление вида (4.2) решает задачу о равномерной асимптотической устойчивости положения равновесия $q = \dot{q} = 0$ системы (1.1).

Доказательство результатов 4.1 и 4.2 проводится построением функционала Ляпунова вида

$$V = \frac{1}{2}\dot{q}'A\dot{q} + \frac{1}{2}q'Bq + \frac{1}{2}\int_0^t q'(s)D(t,s)q(s)ds$$

на основе теоремы 3.1.

Пример 4.1. Рассмотрим задачу о стабилизации поступательно-вращательного движения твердого тела массой m и структурой, определяемой относительно заданной в теле системы координат $Cxyz$ (C — центр инерции тела) матрицей инерции I. Пусть $O\alpha\beta\gamma$ есть неинерционная система координат, вращающаяся относительно некоторой инерциальной системы координат $O_1\xi\eta\zeta$ с угловой скоростью $\bar{\omega}(t) = (\omega_1(t), \omega_2(t), \omega_3(t))'$ и угловым ускорением $\bar{\varepsilon}(t) = (\varepsilon_1(t), \varepsilon_2(t), \varepsilon_3(t))'$.

Уравнения движения тела запишутся в виде

$$m\left(\bar{W}_0 + \bar{\varepsilon}\times x + \bar{\omega}\times(\bar{\omega}\times\bar{x}) + 2\omega\times\frac{dx}{dt} + \frac{d^2x}{dt^2}\right) = \bar{F} + \bar{R},$$

$$I\frac{d\omega}{dt} + (\omega\times I\omega) = \bar{M}_F + \bar{M}_R,$$

где $\bar{x}$ — координата центра масс C относительно $O\alpha\beta\gamma$, $\bar{\omega}$ — абсолютная угловая скорость тела, $\bar{F}$ и $\bar{R}$ — равнодействующие внешних и управляющих сил, приложенных к летательному аппарату, $\bar{M}_F$ и $\bar{M}_R$ — моменты этих сил относительно центра C, $(\bar{x}\times\bar{y})$ — векторные произведения.

Допустим, что $\bar{R}^p(t)$ и $\bar{M}_R^p(t)$ обеспечивают заданное движение тела

$$R^p(t) = m\bar{W}_0 - F(t), \quad M_R^p(t) = I\bar{\varepsilon}(t) + \left(\bar{\omega}(t)\times I\bar{\omega}(t) - \bar{M}_F(t)\right).$$

Уравнение возмущенного движения в переменных $\mathbf{x}$, $\mathbf{y} = \omega - \omega(t)$ будут иметь следующий вид

$$m\left(\frac{d^2\bar{x}}{dt^2} + \bar{\varepsilon}(t)\times\bar{x} + \bar{\omega}(t)\times(\bar{\omega}(t)\times\bar{x}) + 2\bar{\omega}(t)\frac{d\bar{x}}{dt}\right) = \mathbf{X}_{st}$$

$$I\frac{d\bar{y}}{dt} + y\times Iy + y\times I\omega\ (t) + \omega\ (t)\times Iy = \mathbf{M}_{st} \tag{4.6}$$

Угловое положение тела будем определять при помощи параметров Родрига-Гамильтона $(\lambda_0, \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3)$, задающих положения $Cxyz$ относительно $O\alpha\beta\gamma$.

Кинематические уравнения вращательного движения тела в этих параметрах будут иметь следующий вид

$$\begin{aligned}
2\dot{\lambda}_0 &= -\lambda_1 y_1 - \lambda_2 y_2 - \lambda_3 y_3 \\
2\dot{\lambda}_1 &= \lambda_0 y_1 + \lambda_2(y_3 + 2\omega_3^p) - \lambda_3(y_2 + 2\omega_2^p) \\
2\dot{\lambda}_2 &= \lambda_0 y_2 + \lambda_3(y_1 + 2\omega_1^p) - \lambda_1(y_3 + 2\omega_3^p) \\
2\dot{\lambda}_3 &= \lambda_0 y_3 + \lambda_1(y_2 + 2\omega_2^p) - \lambda_2(y_1 + 2\omega_1^p)
\end{aligned} \tag{4.7}$$

Совпадению базисов $Cxyz$ и $C\alpha\beta\gamma$ соответствует кватернион $\Lambda = (\pm 1, 0, 0, 0)$.

Согласно результату 4.2 стабилизация заданного поступательно-вращательного движения твердого тела решается также при отсутствии информации об угловой скорости тела на основе управления вида

$$X_{st} = -A\dot{x}(t-h) - D\cdot x(t),\ Y_{st} = -B\lambda(t) + \int_{-h}^{0} C(s)\lambda(t+s)ds,$$

где $A > 0;\ B > 0;\ C = C(s),\ \dot{C}(s) \le 0,$ есть некоторые подлежащие определению матрицы.

Компьютерное моделирование проводилось для

$$V_c^p = 0,\ \omega^p(t) = 0,\ I = diag(1.1;1.5;2),\ A = diag(0.5;0.6;0.55),\ B = diag(0.24;0.1;0.3),$$

$$C(s) = e^{\gamma s}E,\ \gamma = 100,\ D = d_0 I.\ d_0 = 10.$$

Для компьютерного моделирования была составлена программа, которая позволила вывести следующее графическое изображение процесса управления (рис. 4.1 и 4.2).

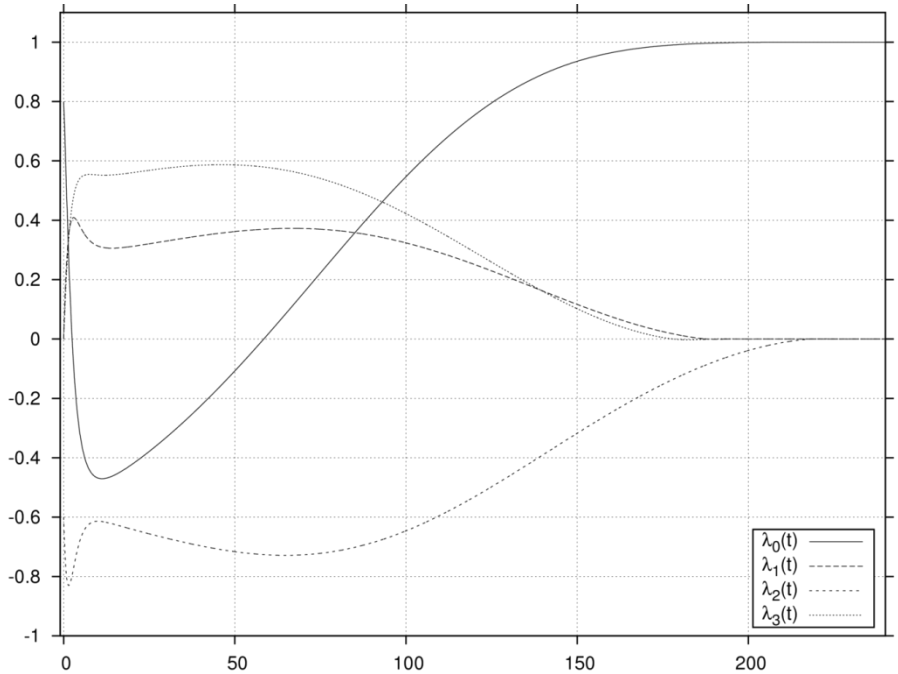


Рис. 4.1 Сходимость по $(\lambda_0, \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3)$

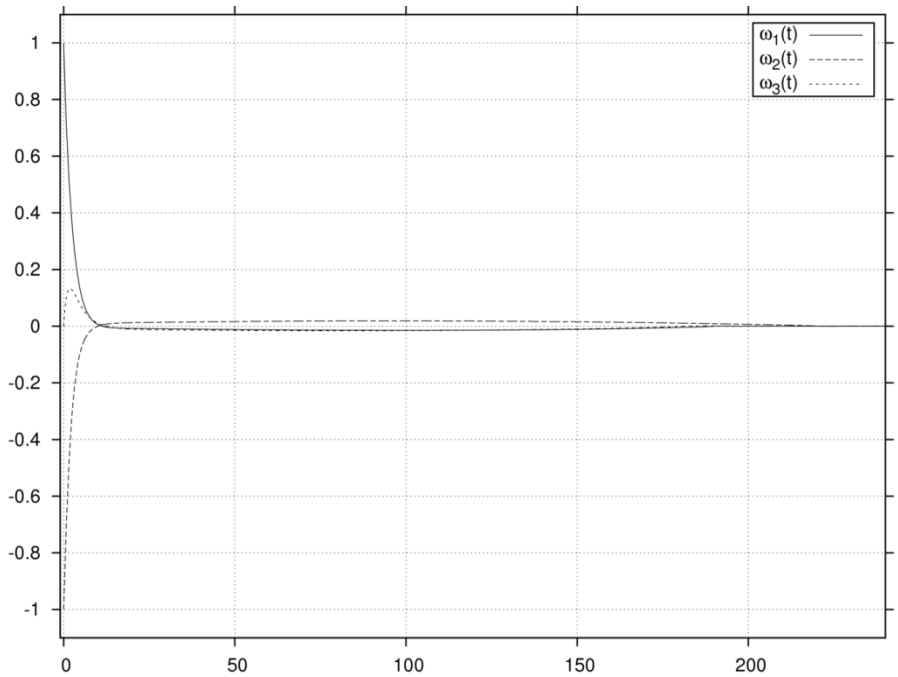


Рис. 4.2 Сходимость по $(\omega_1, \omega_2, \omega_3)$

Заключение. В работе разработаны новые методики исследования устойчивости систем, описываемых функционально-дифференциальными уравнениями типа Вольтерра. Обоснованы новые методики применения ПИД- и ПИ-регуляторов. Построена компьютерная модель управления твердым телом с такими регуляторами.

Список литературы

1. *Павликов С.В.* Метод функционалов Ляпунова в задачах устойчивости / С.В. Павликов – Набережные Челны: Ин-т управления, 2006.
2. *Вольтерра В.* Теория функционалов, интегральных и интегро-дифференциальных уравнений. – М.: Наука, 1982. – 304 с.
3. *Гагаев Б.* Теорема существования решений интегро-дифференциальных уравнений // ДАН СССР. Т. 3. № 3. 1952. С. 469—472.
4. *Женхен О.* О существовании решений интегро-дифференциальных уравнений // ДАН СССР. Т. 91. № 6. 1953. С. 1261—1262.
5. *Быков Я. В.* О некоторых задачах теории интегро-дифференциальных уравнений. Фрунзе: Изд-во Киргиз. гос. ун-та, 1957. 327 с
6. *Андреев А.С.* Устойчивость неавтономных функционально-дифференциальных уравнений / А.С. Андреев – Ульяновск: Изд-во УлГУ, 2005.

05.13.01

В.В. Андреев д.т.н., К.Г. Петров, Н.П. Тарасова, В.А. Чирков к.т.н.

Институт ядерной энергетики и технической физики,
НГТУ им.Р.Е.Алексеева,
Кафедра «Ядерные реакторы и энергетические установки»,
Нижний Новгород, vyach.andreev@mail.ru

ФОРМИРОВАНИЕ ОНТОЛОГИЧЕСКИХ И ДЕЯТЕЛЬНОСТНЫХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ СТУДЕНТОВ В ПРАКТИКЕ ОБУЧЕНИЯ

В работе рассматриваются проблемы существующего технического образования и обсуждаются его основные недостатки. Предлагаются подходы к их устранению в направлении интеллектуализации образования. Приводится пример использования элементов системного подхода в практике обучения.

Ключевые слова: *гуманитаризация, вербализм, предметность, мышление, категория системы.*

В настоящее время в образовательном процессе отсутствуют целостные процессы мышления, и преобладает, в основном, разрывный осколочный, процесс передачи информации. По-видимому, это является очевидным следствием учебного процесса, организованного предметным образом. Указанное становится возможным, поскольку различные науки – предметы учебного плана можно представить и передать в информационной форме, отчуждённой от деятельности студента и от его сознания, когда предметы учебного плана внешне представлены как фрагменты информации, как осколки целостного процесса мышления, оторванные от процессов деятельности, понимания, рефлексии, от процессов личной самоорганизации мысли.

Чтобы этого избежать, необходимо материал предметов учебного плана перевести в форму процессов мышления и деятельности и строить реальные учебные ситуации таким образом, чтобы студент был включён в реализацию этих мыследеятельностных процессов.

Таким образом, будет формироваться более высокий уровень сознания, поскольку студент будет работать с реально осуществляющимися процессами деятельности, мышления, понимания, рефлексии, коммуникации.

При традиционном подходе предметы учебного плана, которые надо запомнить и сделать своими, являются содержанием образования.

При деятельностном подходе содержанием образования является деятельность порождения, конструирования данного предмета и присвоение этой деятельности.

Поэтому реформа образования должна заключаться в переходе от предметного содержания образования к деятельностному содержанию образования.

Каждый раз, в процессе мыслительной деятельности, осуществляется переход от реально осуществляемой деятельности в застывшую (результат, продукт деятельности) и обратно. Знания структурируются и выделяются из процессов мышления и процессы мышления есть исходная среда для порождения знаний, но процессы мышления при этом (их субстанциальные характеристики) улетучиваются.

Отсутствие связи между мышлением и действием приводит к тому, что действие становится безмыслительным, мышление не практичным, т.е. недеятельностным. Изоляция мышления от действия приводит к безнравственности.

Рассмотрим в качестве примера одну из норм мыслительной деятельности, которая изображена на Рис. 1 [2]:

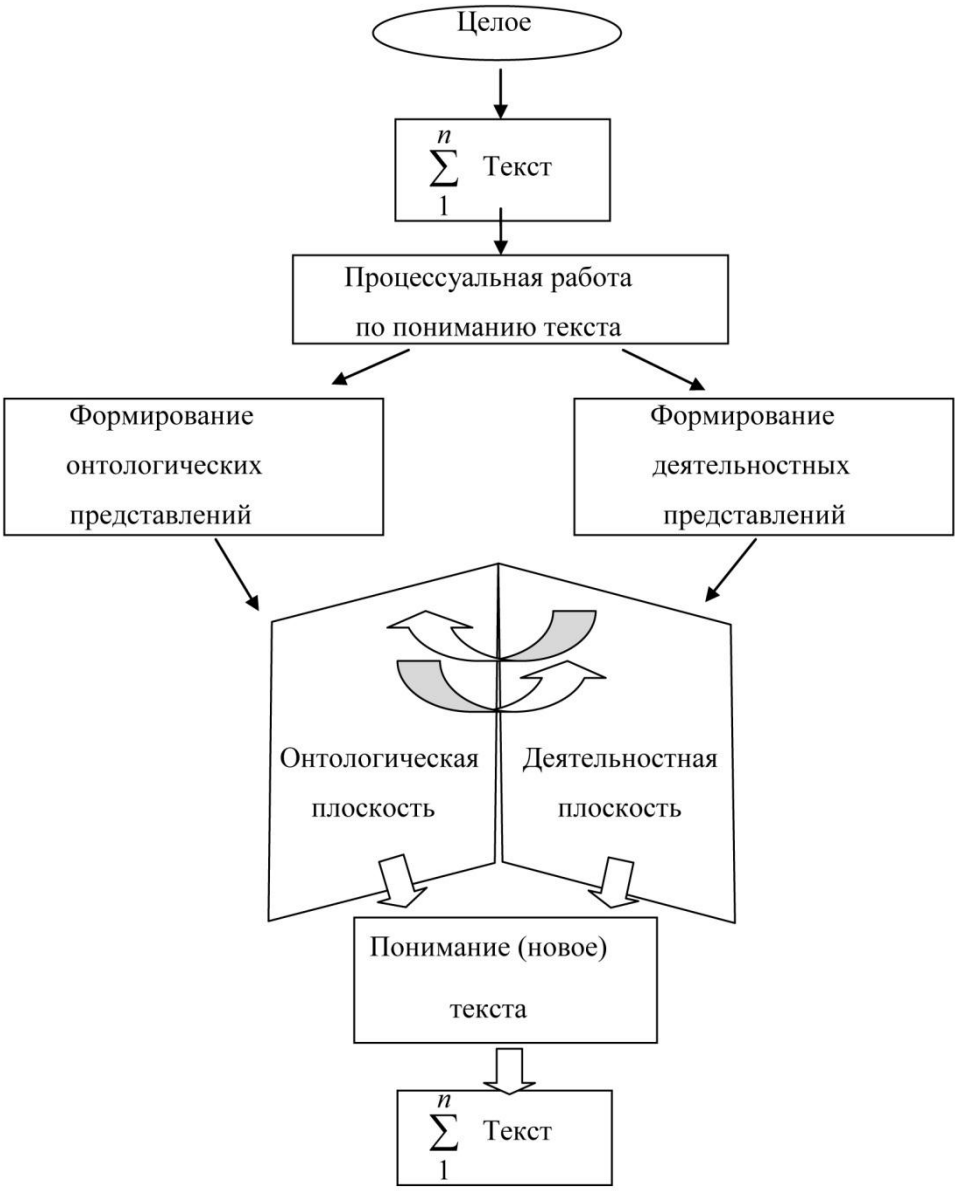


Рис. 1 – Процессуальная схема понимания текста.

На Рис. 1 изображены две взаимосвязанные и взаимноортогональные плоскости. Любой текст необходимо раскладывать на два пространства в соответствии с плоскостями, изображёнными на рисунке. На Рис. 1 изображены симметрично два процесса. Верхний процесс – порождение знаковой формы из объективного содержания и нижний процесс – получение объективного содержания из знаковой формы. Объективному содержанию (левая плоскость) всегда соответствует знаковая форма (правая плоскость) и наоборот. Это два разных способа выражения одной и той же сущности, но проекция одной плоскости на другую даёт ноль в силу принципа ортогональности плоскостей.

Целостный процесс мышления – это движение в двух плоскостях: от плоскости объективного содержания (левая плоскость) к плоскости знаковой формы (правая плоскость) и наоборот, причем плоскость объективного содержания задает и определяет знаковую форму.

В качестве примера применения этой нормы (Рис. 1) в образовательном процессе можно рассмотреть текст по теории диффузии частиц (нейтронов) [1 стр. 200-203].

При изучении текста [1 стр. 200-203] можно выделить следующие идеализации-полагания показанные в левой части таблицы. И тогда можно получить следствия, вытекающие из этих идеализаций и их выражения в знаковой форме, показанные в правой части Таблицы 1.

Таблица 1- Соответствие онтологических и деятельностных представлений.

	Идеализации		Следствия, вытекающие из этих идеализаций, их выражение в знаковой форме
1	2	3	4
	А		В
1А	Ядра замедлителя покоятся.	1В	Vядра=0
2А	Нейтроны моноэнергетические, следовательно, скорость нейтронов постоянна.	2В	Vн=const
3А	Отсутствуют сильные источники и стоки частиц. Справедливо разложение в ряд потока нейтронов до второго члена.	3В	$\Phi = \Phi_0 + r\frac{\partial\Phi}{\partial r} + r^2\frac{\partial\Phi^2}{\partial r^2}$,
4А	Изотропное (сферически-симметричное) рассеяние, т.е. направление движения нейтронов после столкновения не зависит от направления движения нейтронов до столкновения.	4В	$j_- = \frac{\Phi_0}{4} + \frac{1}{6}\frac{1}{\sum_t}\left(\frac{\partial\Phi}{\partial z}\right)$, $j_+ = \frac{\Phi_0}{4} - \frac{1}{6}\frac{1}{\sum_t}\left(\frac{\partial\Phi}{\partial z}\right)$.

Продолжение Таблицы 1.

1	2	3	4
5А	Плотность нейтронов n(r) может быть любой (постоянная или переменная).	5В	
5А.1	1. Плотность нейтронов n(r) постоянна.	5В.1	$j_z = j_+ - j_- = 0$
5А.2	2. Плотность нейтронов n(r) не постоянна по объёму.	5В.2	$j_z = j_+ - j_- = -\frac{1}{3\sum_t}\left(\frac{\partial\Phi}{\partial z}\right)_0$.
6А	Закон Фика: плотность диффузионного (полного) тока нейтронов направлена в сторону меньшей плотности нейтронов и равна алгебраической сумме количества нейтронов, пересекающих в единицу времени единичную площадку, перпендикулярную выбранному направлению. Это фундаментальное полагание простой теории диффузии	6В	$j = -D\,\mathrm{grad}\,\Phi$.
7А	Если поток нейтронов известен как функция пространственных координат, то можно вычислить утечку.	7В	$-D\Delta\Phi dV$.

Левая и правая плоскости представляют собой две разные формы существования одной и той же сущности: левая часть характеризуют структуру объекта, а правая часть выражение этого объекта в знаковой форме.

Исходя из анализа Рис. 1, можно сделать выводы:

- изменение структуры объекта (плоскость А) приводит к изменению её выражения в знаковой форме (плоскость В);
- отказ от положений 1А, 2А, 3А приводит к отказу от теории диффузии;
- отказ от изотропии (4А) и полагание анизотропии приводит к замене $\sum_s$ на $\sum_{tr}$ и изменению знаковой формы ($\sum_t=\sum_s+\sum_a \Rightarrow \sum_t=\sum_{tr}+\sum_a$);
- наличие сильных источников и стоков приводит к отказу от теории диффузии и выражения 3В, 4В, 5В, 6В улетучиваются. При этом необходимо сконструировать новую теорию – теорию переноса частиц, которая имеет совершенно иную знаковую форму. Таким образом, можно считать, что при работе с текстом главным является конструирование структуры объекта - выделение онтологической картины, которая задаёт и определяет знаковую форму. Выделенная онтологическая картина задаёт границы применимости той или иной теории.

Культивирование в практике обучения различных норм мыслительной деятельности приведёт к интеллектуализации образовательного процесса и его участников – преподавателей и студентов.

Список литературы

1. *Глесстон С., Эдлунд М.* Основы теории ядерных реакторов. М., 1954.
2. *Щедровицкий Г. П.* Избранные труды. — М., 1995. — 759 с.
3. *Щедровицкий Г.П.* О специфических характеристиках логико-методологического исследования науки / Г.П. Щедровицкий // Проблемы исследования структуры науки. - Новосибирск, 1967. С.350-359.

05.13.18

А.О. Артемова, Г.А. Шепелев

Ульяновский государственный университет,
факультет математики и информационных технологий,
кафедра информационной безопасности и теории управления,
Ульяновск, mtu@ulsu.ru

О МЕТОДЕ ВЕКТОРНЫХ ФУНКЦИОНАЛОВ ЛЯПУНОВА В ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ[1]

В структуре обратной связи управляемой системы или управляемого процесса, как правило, возникает запаздывание в определении текущих параметров, в формировании управляющего сигнала и т.д. Математическое моделирование такой системы приводит к необходимости применения функционально-дифференциальных уравнений запаздывающего типа. К исследованию таких уравнений приводят,например, задачи использования ПИ- и ПИД- регуляторов, управления при неполной обратной связи. В работе излагаются некоторые новые результаты по стабилизации и управлению системами, описываемыми в общем виде функционально-дифференциальными уравнениями с конечным запаздыванием.

Ключевые слова: *управляемая система, управление движением, стабилизация, функционал Ляпунова.*

Обозначив через $|\mathbf{x}|$ норму в R^n, введем: $h>0$ – заданное действительное число, C – банахово пространство непрерывных функций $\varphi:[-h,0]\to R^n$ с нормой $\mathrm{P}\varphi\mathrm{P}=\max(|\varphi(s)|,-h\le s\le 0)$. Для непрерывной функции $\mathbf{x}:[\alpha-h,\beta]\to R^n$ ($\alpha,\beta\in R,\ \alpha<\beta$) и каждого $t\in[\alpha,\beta]$ функцию $\mathbf{x}_t\in C$ определим равенством $\mathbf{x}_t(s)=\mathbf{x}(t+s)$ $(-h\le s\le 0)$, под $\dot{\mathbf{x}}(t)$ будем понимать правостороннюю производную.

Рассмотрим управляемую систему, описываемую векторным функционально-дифференциальным уравнением

$$\dot{\mathbf{x}}(t)=\mathbf{X}(t,\mathbf{x}_t,\mathbf{u}),\quad \mathbf{X}(t,\mathbf{0},\mathbf{0})=\mathbf{0} \tag{1}$$

где $\mathbf{X}:R^+\times G\times R^m\to R^n$ есть вектор-функция, определенная и непрерывная в области $R^+\times G\times R^m$, $G=\{\varphi\in C:\|\varphi\|<H, H=const>0 \text{ или } H=+\infty\}$.

Будем рассматривать для системы (1) задачу стабилизации в классе непрерывных и кусочно-непрерывных управляющих воздействий $U=\{\mathbf{u}:R^+\times G\to R^m,\mathbf{u}(t,\mathbf{0})=\mathbf{0}\}$. В этот класс могут быть включены как управления вида $\mathbf{u}=\mathbf{u}(t,\mathbf{x}(t-h_0(t)))$, $0\le h_0(t)\le h$, с запаздыванием, зависящим от времени, так и управления вида

$$\mathbf{u}(t,\mathbf{x}_t)=\mathbf{x}(t)+\int_{-h}^{0}\mu(t,s)\mathbf{x}(t+s)ds.$$

Наиболее приемлемой с практической точки зрения является следующая постановка задачи о стабилизации.

Определение 1. *Управляющее воздействие* $\mathbf{u}=\mathbf{u}^0(t,\varphi)$ *является стабилизирующим, если нулевое положение равновесия системы*

[1] Исследование выполнено при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, соглашение 14.B37.21.0373 «Развитие методов и алгоритмов исследования задач об управлении нелинейными механическими системами и компьютерное моделирование управляемого движения системы тел».

$$\dot{\mathbf{x}}(t) = \mathbf{X}^0(t, \mathbf{x}_t), \quad \mathbf{X}^0(t, \mathbf{x}_t) = \mathbf{X}(t, \mathbf{x}_t, \mathbf{u}(t, \mathbf{x}_t)) \qquad (2)$$

является равномерно асимптотически устойчивым с некоторой областью притяжения $G = \{\varphi \in C : \|\varphi\| \le H_0 < H\}$.

Будем предполагать, что в некоторой области $D \subset G$ правая часть уравнения (2) вполне непрерывна и удовлетворяет условию Липшица для каждого компакта $K \subset D$.

При этих предположениях согласно [1] решение уравнения (2) $\mathbf{x} = \mathbf{x}(t, \alpha, \varphi)$ является единственным для каждой точки $(\alpha, \varphi) \in R \times D$, оно непрерывно по (α, φ) и является непродолжимым на некотором интервале $[\alpha - h, \beta]$, то $\mathbf{x}_t(\alpha, \varphi) \to \partial D$ при $t \to \beta$.

Допустим, что правая часть уравнения (2) ограничена на каждом множестве $R \times \bar{C}_{H_1}$, $\bar{C}_{H_1} = \{\varphi \in C : \|\varphi\| \le H_1 < H\}$, т.е. для каждого $H_1 > 0$ существует $M > 0$ такое, что

$$|\mathbf{X}(t, \varphi)| \le M \quad \forall (t, \varphi) \in R \times \bar{C}_{H_1}$$

и удовлетворяет также следующему условию.

Для каждого компактного множества $K \subset C_H$ функция $\mathbf{X} = \mathbf{X}(t, \varphi)$ равномерно непрерывна по $(t, \varphi) \in R \times K$, т.е. для любого $K \in C_H$ и для произвольного малого $\varepsilon > 0$ найдется $\delta = \delta(\varepsilon, K) > 0$ такое, что для любых (t_1, φ_1), $(t_2, \varphi_2) \in R^+ \times K : |t_2 - t_1| < \delta$, $\varphi_1, \varphi_2 \in K : \|\varphi_2 - \varphi_1\| < \delta$ выполняется неравенство

$$|\mathbf{X}(t_2, \varphi_2) - \mathbf{X}(t_1, \varphi_1)| < \varepsilon.$$

При этих условиях для уравнения (2) можно построить семейство предельных уравнений [2]:

$$\dot{x}(t) = \mathbf{X}^*(t, x_t) \qquad (3)$$

Это семейство позволяет определить топологическую динамику неавтономного уравнения (2) с непрерывной правой частью [2].

Перейдем к построению топологической динамики уравнения (2), полагая, что его правая часть является кусочно-непрерывной в соответствии со следующим определением.

Функция $\mathbf{X}(t, \varphi)$ называется кусочно-непрерывной в области $R \times C_H$, если C_H можно представить в виде $C_H = D_1 \bigcup D_2 \bigcup \ldots \bigcup D_l \bigcup M$, при этом $\mathbf{X}(t, \varphi)$ непрерывна в каждой подобласти D_j $(j = 1, \ldots, l)$, для каждого $t \in R$ существует конечный предел $\{\mathbf{X}(t, \varphi_k)\}$, когда $\varphi_k \to \varphi \in M$.

Введем функцию $\mathbf{F}(t, \varphi)$, совпадающую с $\mathbf{X}(t, \varphi)$ для точек $(t, \varphi) \in R \times D_0$, $D_0 = D_1 \bigcup D_2 \bigcup \ldots \bigcup D_l$, и доопределим $\mathbf{F}(t, \varphi)$ для $(t, \varphi) \in R \times M$ следующим образом.

Доопределение 1. *Для каждой точки* $(t, \varphi) \in R \times D$ *пусть* $\mathbf{F}(t, \varphi)$ *– наименьшее выпуклое замкнутое множество, содержащее все предельные значения* $\mathbf{X}(t, \varphi)$, *когда* $t = \text{const} \in R$, $\varphi_k \to \varphi \in M$, $\{\varphi_k \notin M\}$.

\ Соответственно уравнению (2) может быть рассмотрено дифференциальное включение

$$\dot{\mathbf{x}}(t) \in \mathbf{F}(t, \mathbf{x}_t), \qquad (4)$$

так что решением уравнения (2) называется абсолютно непрерывная функция $\mathbf{x} = \mathbf{x}(t)$, определенная на интервале I, для которой почти всюду на I имеет место соотношение $\dot{\mathbf{x}}(t) \in \mathbf{F}(t, \mathbf{x}_t(s))$.

Допустим, что правая часть уравнения (1)-(2) имеет вид

$$\mathbf{X} = \mathbf{X}(t, \varphi, u_1(t, \varphi), \ldots, u_r(t, \varphi)),$$

при этом функция $\mathbf{X} = \mathbf{X}(t, \varphi, u_1, \ldots, u_r)$ непрерывна по всем своим аргументам, а скалярные функции $u_j(t, \varphi)$ $(j = \overline{1, r})$ являются кусочно-непрерывными в области $R \times D_j$, т.е. каждая

функция $u_j(t,\varphi)$ непрерывна на $R\times D_j$, за исключением, при фиксированном $t\in R$ на множестве $M_j(t)$ меры нуль, при этом функция $u_j(t,\varphi)$ имеет конечные пределы при $(t_k,\varphi_k)\to(t,\varphi)\in R\times M_j$, и все получаемое множество значений $u_j(t,\varphi)$ этой функции является выпуклым. Вводим многозначную функцию $F_1(t,\varphi)=F(t,\varphi,U_1(t,\varphi),...,U_r(t,\varphi))$, принимающую при каждом (t,φ) значения, определяемые независимыми изменениями $U_1(t,\varphi),...,U_r(t,\varphi)$, $U_l^-(t,\varphi)\le U_l(t,\varphi)\le U_l^+(t,\varphi)$ $(j=\overline{1,r})$.

Доопределение 2. *Решением называется абсолютно непрерывная функция* $\mathbf{x}=\mathbf{x}(t)$ *удовлетворяющая включению уравнения (4) с функцией* $\mathbf{F}=\mathbf{F}_1(t,\varphi)$.

Независимо от введенных определений, будем полагать, что выполнено условие

$$\left|\mathbf{F}(t,\varphi)\right|\le M \quad \forall(t,\varphi)\in R\times\bar{C}_{H_1},$$

при любом $0<H_1<H$.

Соответственно можно определить семейство предельных к (4) включений [3]

$$\dot{\mathbf{x}}(t)\in\mathbf{F}^*(t,\mathbf{x}_t), \tag{5}$$

где функция $\mathbf{F}^*(t,\varphi)$ совпадает с $\mathbf{X}^*(t,\varphi)$ в области $D_0^*=\left(D_1^*\bigcup D_2^*\bigcup\ldots\bigcup D_l^*\right)\bigcap\Gamma$, и доопределяется на границе M^*, где $M^*=\left(D_H\setminus D_0^*\right)\bigcap\Gamma$.

Связь между решениями (4) и (5) и свойство квазиинвариантности уравнения (3) аналогичны результатам из [3].

Рассмотрим задачу об устойчивости ФДУ на основе векторных функционалов Ляпунова.

Пусть $\mathbf{V}:R^+\times C_H\to R^k$, $\mathbf{V}=(V^1,V^2,...,V^k)^/$, есть непрерывный инвариантно дифференцируемый [4,5] функционал, имеющий производную в силу (2)

$$\dot{\mathbf{V}}^*(t,\varphi)=(\dot{V}^{1*}(t,\varphi),...,\dot{V}^{k*}(t,\varphi))^/,\quad \dot{V}^{i*}(t,\varphi)=\frac{\partial V^i}{\partial t}(t,\varphi)+$$

$$+\sup\left(\sum_{j=1}^{p}\frac{\partial V^i}{\partial x_j}(t,\varphi)\cdot y_j\right)\Bigg|_{y_j=\mathbf{x}_j(t,\varphi)}+\partial V_\varphi^{\,i}(t,\varphi),\quad i=1,2,...,k.$$

Допустим, что производная $\dot{\mathbf{V}}^*(t,\varphi)$ оценивается равенством вида

$$\dot{\mathbf{V}}^*(t,\varphi)=\mathbf{Y}(t,\mathbf{V}(t,\varphi))+\mathbf{W}(t,\varphi,\mathbf{V}(t,\varphi)) \tag{6}$$

Будем полагать, что:

1) вектор-функция (или векторный функционал) $\mathbf{V}=(V^1,V^2,...,V^k)^/$ является ограниченной, равномерно непрерывной на каждом множестве $R^+\times K$, $K\subset C_H$ - компакт;

2) аналогичное свойство в области $R\times C_H\times R^k$ имеет функция $\mathbf{W}:R\times C_H\times R^k\to R^k$, при этом $\mathbf{W}(t,\varphi,\mathbf{V}(t,\varphi))\le 0$;

3) функция $\mathbf{Y}:R\times R^k\to R^k$ таковы, что система сравнения $\dot{\mathbf{y}}=\mathbf{Y}(t,\mathbf{y})$ имеет свойства $\dot{\mathbf{y}}=\mathbf{Y}^*(t,\mathbf{y}),\mathbf{Y}^*\in F_Y$ и $\mathrm{P}\mathbf{\Phi}(t,t_0,\mathbf{y}_0)\mathrm{P}$,, $M(K)$, $\det\mathbf{\Phi}(t,t_0,\mathbf{y}_0)\ldots\alpha(K)$.

Имеет место следующая теорема о локализации положительного предельного множества $\omega^+(\mathbf{x}(t))$ решения $\mathbf{x}=\mathbf{x}(t)$ включения (4).

Теорема 1. *Предположим, что для системы (4) можно найти вектор-функцию* $\mathbf{V}(t,\varphi)$, *удовлетворяющую равенству (6), при этом:*

1) решение $\mathbf{x}=\mathbf{x}(t)$, $\mathbf{x}_\alpha=\varphi$, *включения (3) ограничено компактом* $K\subset D_H$;

2) решение $\mathbf{y}=\mathbf{y}(t,t_0,\mathbf{y}_0)$ *системы сравнения* $\dot{\mathbf{y}}=\mathbf{Y}(t,\mathbf{y})$ *с начальным условием* $\mathbf{y}_0=\mathbf{V}(t_0,\varphi)$ *ограничено при всех* $t\ge t_0$.

Тогда для любой предельной точки $\psi \in \omega^{+}(\mathbf{x}(t))$ *найдется набор предельных функций* $(\mathbf{F}^{*}, \mathbf{V}^{*}, \mathbf{Y}^{*}, \mathbf{W}^{*})$, *такой, что решение* $\mathbf{x} = \mathbf{x}^{*}(t)$ $(x_0 = \psi)$ *предельного включения (4) удовлетворяет соотношениям*

$$\mathbf{x}_t^{*} \in \omega^{+}(\mathbf{x}(t)) \text{ и } \mathbf{x}_t^{*} \in \{\mathbf{V}^{*}(t,\varphi) = \mathbf{y}^{*}(t)\} \bigcap \{\mathbf{W}^{*}(t,\varphi, y^{*}(t)) = 0\}$$

для всех $t \in R$, *где* $\mathbf{y} = \mathbf{y}^{*}(t)$ *есть решение* $\dot{\mathbf{y}} = \mathbf{Y}^{*}(t,\mathbf{y})$ *с начальным условием* $\mathbf{y}^{*}(0) = \mathbf{V}^{*}(0,\psi)$.

Теорема 1 позволяет определить условия, при которых управляющее воздействие $\mathbf{u} = \mathbf{u}(t,\varphi)$ решает задачу о стабилизации системы (1).

Теорема 2. *Допустим, что можно найти управляющее воздействие* $\mathbf{u} = \mathbf{u}(t,\varphi)$ и векторный *функционал* $\mathbf{V}: R^{+} \times C_{H_1} \to R^{k}$ *такие, что:*

1) $a_1(|\varphi(0)|) \le \overline{V}(t,\varphi) \le a_2(\|\varphi\|)$;

2) производная $\mathbf{V}(t,\varphi)$ *в силу (4) удовлетворяет равенству (6);*

3) нулевое решение $y = 0$ *системы сравнения* $\dot{\mathbf{y}} = \mathbf{Y}(t,\mathbf{y})$ *равномерно устойчиво;*

4) для любой предельной совокупности $(\mathbf{F}^{*}, \mathbf{V}^{*}, \mathbf{Y}^{*}, \mathbf{W}^{*})$ *множество* $\{\mathbf{V}^{*}(t,\varphi) = \mathbf{y}^{*}(t)\} \bigcap \{\mathbf{W}^{*}(t,\varphi,\mathbf{y}^{*}(t)) = 0\}$ *не содержит движений (4), кроме* $\mathbf{x} = \mathbf{0}$.

Тогда управление $\mathbf{u} = \mathbf{u}(t,\varphi)$ *решает задачу о стабилизации системы (1).*

Теорема 3. *Допустим, что можно найти управляющее воздействие* $\mathbf{u} = \mathbf{u}(t,\varphi)$ и векторный *функционал* $\mathbf{V}: R^{+} \times C_{H_1} \to R^{k}$ *такие, что:* $0 \le \overline{V}(t,\varphi) \le a_2(\|\varphi\|)$; *выполняются условия 2)-4) теоремы 2 и, кроме того, нулевое решение* $\mathbf{x} = \mathbf{0}$ *включения (4) равномерно асимптотически устойчиво относительно множества* $\{\overline{V}^{*}(t,\varphi) = 0\}$ *и семейства предельных совокупностей* $\{(\mathbf{F}^{*}, \mathbf{V}^{*}, \mathbf{Y}^{*}, \mathbf{W}^{*})\}$.

Тогда управление $\mathbf{u} = \mathbf{u}(t,\varphi)$ *решает задачу о стабилизации системы (1).*

Допустим, что управления $\mathbf{u} = (u_1(t,\varphi), u_2(t,\varphi), \ldots, u_m(t,\varphi))'$ являются кусочно-непрерывными, терпят разрыв на поверхности $\{\psi_j(t,\varphi) = 0\}$ $(j = \overline{1,l})$, $\psi_j : R^{+} \times C_H \to R$ есть ограниченные, равномерно непрерывные функции.

Теорема 4. *Допустим, что можно найти управляющее воздействие* $\mathbf{u} = \mathbf{u}(t,\varphi)$ и векторный *функционал* $\mathbf{V}: R^{+} \times C_{H_1} \to R^{k}$ *такие, что:*

1) $a_1(|\psi(t,\varphi)|) \le \overline{V}(t,\varphi) \le a_2(\|\varphi\|)$;

2) производная векторного функционала удовлетворяет неравенству $\dot{\mathbf{V}}^{*}(t,\varphi) \le -a_3(|\psi(t,\varphi)|)$;

3) нулевое решение $\mathbf{x} = \mathbf{0}$ *включения (5) равномерно асимптотически устойчиво относительно множества* $\{\psi^{*}(t,\mathbf{x}) = 0\}$ *и семейства предельных совокупностей* $\{(\mathbf{F}^{*}, \mathbf{V}^{*}, \mathbf{Y}^{*}, \mathbf{W}^{*})\}$.

Тогда управление $\mathbf{u} = \mathbf{u}(t,\varphi)$ *решает задачу о стабилизации системы (1).*

Заключение. В работе проведено развитие метода функционалов Ляпунова в решении задач о стабилизации движений управляемых систем с учетом запаздывания в структуре обратной связи. Доказанные теоремы обобщают результаты из [2,3].

Список литературы

1. *Хейл Дж.* Теория функционально-дифференциальных уравнений / Дж. Хейл – М.: Мир, 1984. – 422 с.
2. *Андреев А.С.* Устойчивость неавтономных функционально-дифференциальных уравнений. – Ульяновск: УлГУ, 2005. – 328 с.
3. *Павликов С.В., Шепелев Г.А.* К методу функционалов Ляпунова в задаче об устойчивости функционально-дифференциальных уравнений с разрывной правой частью // Научно-технический вестник Поволжья, 2011. №1. – С. 163-165.
4. *Ким А.В.* Прямой метод Ляпунова в теории устойчивости систем с последействием. Екатеринбург: Изд-во Уральс. ун-та, 1992.
5. *Ким А.В.* i-Гладкий анализ и функционально-дифференциальные уравнения / А.В. Ким – Екатеринбург: УрО РАН, 1996. – 233 с.

05.23.05

А.С. Багдасаров к.т.н., Д.А. Урусов

Северо-Кавказская Государственная Гуманитарно-Технологическая Академия,
Институт строительства и электроэнергетики,
кафедра технология строительного производства и строительные материалы,
г. Черкесск, dzhemal@list.ru

АНАЛИЗ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОГО МЕТОДА ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ФОСФОГИПСА ОАО «НЕВИННОМЫССКИЙ АЗОТ»

Рациональным направлением утилизации промышленных отходов является их использование как техногенного сырья в производстве. Применение фосфогипса в производстве строительных материалов способом полусухого прессования является эффективным методом его утилизации. При прессовании полусухих смесей расстояние между частицами фосфогипса уменьшается до критического и начинается процесс кристаллизации с образованием кристаллической структуры прессованного фосфогипсового материала.

Ключевые слова: *фосфогипс, сырьевая смесь, полусухое прессование, влажность, нейтрализация.*

Рациональное использование природных ресурсов в производстве возможно за счет внедрения безотходных технологий при переработке природного сырья и промышленных отходов. Само понятие «отходы производства и потребления» для многих материальных продуктов условно. Они превращаются в ценное, порой даже дефицитное сырье.

В настоящее время на предприятиях горнодобывающей, металлургической, химической, деревообрабатывающей, энергетической, строительных материалов и других отраслей промышленности Российской Федерации ежегодно образуется около 7 млрд. тонн отходов. Годовой экономический ущерб от загрязнения окружающей среды отходами производства и потребления оценивается на уровне 10% валового внутреннего продукта. Наиболее рациональным направлением утилизации промышленных отходов является их использование как техногенного сырья при получении различного вида продукции и прежде всего строительного назначения. Так как строительство потребляет около трети всей массы продукции материального производства [1].

По содержанию характерного химического компонента отходы химико-технологических производств классифицируют по следующим видам: фосфор- и фторсодержащие шлаки, гипсо- и известьсодержащие продукты, железистые, кремнеземистые и другие материалы [2]. По технологическому назначению в производстве строительных материалов выделяют следующие группы:

1. Сырьевые материалы (для получения цемента, гипса, извести и др.);
2. Интенсификаторы технологических процессов;
3. Добавки-модификаторы свойств материалов.

Значительный интерес представляют гипсосодержащие побочные продукты, которые могут являться сырьем для производства гипсового вяжущего и изделий на его основе. Из этих продуктов в наибольшем количестве образуется фосфогипс. Так на получение 1 т экстракционной фосфорной кислоты (в пересчете на 100% H_3P0_4) образуется 3,6 – 6,2 т фосфогипса в пересчете на сухое вещество [1].

Рациональное решение проблемы утилизации фосфогипса ведётся по трём направлениям:

1. Создание новых технологических процессов и изменение условий переработки фосфатного сырья с учётом использования попутного продукта – фосфогипса (комплексная переработка минерального сырья).

2. Поиск новых способов переработки фосфогипса, учитывающий и использующий его отличия от природного сырья.

3. Введение дополнительного технологического передела (очистки, сушки, помола, обогащения фосфогипса и др.) при использовании технологической схемы и оборудования, применяемого при переработке природного гипсового сырья.

По исследованиям учёных эффективным, перспективным и наименее затратным методом является использование непереработанного фосфогипса в строительстве для его утилизации. Одним из таких направлений является использование фосфогипса для изготовления строительных изделий по прессовой технологии [3]. Предпосылками данного утверждения является следующее:

– возможность крупнотоннажной утилизации фосфогипса, так как содержание его в композиции достигается 80 – 90 %;

– исключение из технологической схемы стенда формовки и парка форм, так как прессованные изделия сразу складируются на поддоны;

– при производстве прессованных изделий происходит саморазогревание смеси, что обеспечит активацию фосфогипса и добавок.

Химический состав фосфогипса химического завода ОАО «Невинномысский Азот» (табл. 1), полученного из апатитового концентрата, показывает, что содержание дигидрата сульфата кальция в нем превышает 92%. По данному показателю фосфогипс можно отнести к первосортному гипсовому сырью, однако разнообразие примесей, имеющихся в нем, заметно изменяет его свойства.

Таблица 1 - Примерный химический состав фосфогипса ОАО «Невинномысский Азот»

Содержание, % по массе										
SiO_2	R_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	SO_3	P_2O_5		F, Cl	H_2O	Гипс
						Общее	Водорастворимое			
0,85	1,38	31,7	0,18	0,07	44,7	1,06	0,31	0,19	19,8	94,8

Из анализа химического состава следует, что фосфогипс является материалом с кислой средой. В соответствии с рекомендациями многих учёных (Ляшкевич И.М., Меркин А.П., Данилов В.И. и др.) для нейтрализации кислотных остатков в фосфогипсе можно использовать гидроксид кальция, что позволяет повысить pH исходного фосфогипса от 1,1 до pH не ниже 7.

Для получения фосфогипсовых строительных изделий особое значение имеют влажность, удельная поверхность и структура кристаллов фосфогипса. Еще И.М. Ляшкевичем были систематизированы факторы, обуславливающие получение высокопрочных гипсовых структур [3]:

-1 достаточное оводнение гипсового вяжущего;

-2 создание в жидкой фазе системы «гипс – вода» необходимого уровня пересыщения раствора;

-3 образование в системе развитой коагуляционной структуры;

-4 сближение частиц твердой фазы с преодолением энергетического барьера до возникновения ближней коагуляции;

-5 интенсификация процесса образования кристаллизационных контактов;

-6 поддержание соответствующего уровня пересыщения жидкой фазы в сформованном материале для последующего упрочнения.

Процесс твердения вяжущих веществ типа полуводного гипса состоит из нескольких элементарных процессов: растворение вяжущего, возникновение зародышей гидрата, рост кристаллов гидрата, образование коагуляционной и кристаллизационной структуры [4].

Возникновение кристаллизационной структуры может происходить при выполнении следующих условий. Во-первых, частицы дисперсной фазы должны находиться на достаточно малом расстоянии, при котором возможно образование кристаллизационных контактов между ними. Во-вторых, концентрация растворенного вещества в дисперсионной среде должна быть больше растворимости гидрата, т.е. система должна быть метастабильной.

При прессовании полусухих смесей для образования кристаллизационной структуры следует повысить пересыщение жидкой фазы относительно двуводного гипса. Этого можно достичь, если в систему ввести незначительное количество (до 5% от массы фосфогипса-дигидрата) вяжущего, что поспособствует обрастанию исходных кристаллов фосфогипса-дигидрата (ФГД), а следовательно уменьшению расстояния между ними. При уменьшении зазора между частицами до критического размера возникают мостики срастания, и образуется пространственная кристаллизационная структура.

После окончания процесса гидратации вяжущего наступает вторая стадия твердения системы. К этому моменту времени сформировалась первичная пространственная структура, обладающая некоторой начальной прочностью, далее твердение изделия происходит за счет процесса перекристаллизации частиц ФГД и продолжается в течение длительного времени.

Для установления рациональных параметров механохимической активации были изготовлены образцы следующего состава: фосфогипс, известь, вода. Наличие извести необходимо для нейтрализации водорастворимых кислотных остатков. Готовые образцы имели цилиндрическую форму диаметром и высотой 5 см, среднюю плотность 1.5 г/см^3. Для проведений объективных исследований полученные образцы соответствовали различным исходным составам и условиям изготовления. Применялись следующие водотвердые соотношения: 0,15; 0,16; 0,17; 0,18; 0,19; 0,2; прессующие давления: 15 МПа, 17,5 МПа, 20 МПа, 22,5 МПа, 25 МПа, 27,5 МПа, 30 МПа. Количество вводимой извести изменялось в пределах от 3 до 15%. По результатам проведенных испытаний на прочность при сжатии были установлены достаточная величина В/Т = 0,16 (16% от массы смеси) и величина прессующего давления Р = 25 МПа, количество извести – 10% от массы смеси.

Далее при имеющихся постоянных значениях В/Т и прессующего давления исследования проводились с повышения физико-механических параметров изделий. Были изготовлены серии образцов следующих составов: 1). фосфогипс, известь, полуводный гипс, вода; 2). фосфогипс, известь, доменный шлак, вода; 3). фосфогипс, известь, цемент. Результаты исследований сведены в табл. 2.

По показателям физико-механических характеристик образцов прессованных фосфогипсовых изделий предложены композиционные составы сырьевых смесей с долевым содержанием компонентов:

- фосфогипс-дигидрат – 83 – 87 %;
- нейтрализующая добавка (гидроскид кальция) – 8 – 12 %;
- гидравлическое вяжущее – 4 – 6 %.

Таблица 2 – Прочность при сжатии образцов с добавками гипса, шлака и цемента

№ п/п	Состав смеси			Показатели качества				
	Фосфо-гипс	Известь	Добав-ка	В/Т	Прочность R, МПа		Водопо-глащение %	Коэффи-циент раз-мягчения, $К_р$
					Естест. влаж.	Водо-насыщ.		
1	5	6	7	8	9	10	11	12
Фосфогипс, известь, гипс.								
1	87	10	3	0,16	9,4	3,8	19,2	0,37
2	85	10	5	0,16	9,46	3,4	20,3	0,36
3	83	10	7	0,16	9,2	3,7	19,4	0,38
Фосфогипс, известь, шлак.								
4	87	10	3	0,16	8,8	4	20,6	0,39
5	85	10	5	0,16	8,9	4,9	20,7	0,44
6	83	10	7	0,16	9,44	5	20,6	0,4
Фосфогипс, известь, цемент.								
7	87	10	3	0,16	10,7	4,3	19,4	0,43
8	85	10	5	0,16	10,44	5	20,1	0,43
9	83	10	7	0,16	11,14	5,3	19,6	0,44

Из предложенных сырьевых смесей была выпущена опытная партия кирпичей, полученных методом полусухого прессования из фосфогипса ОАО «Невинномысский Азот», со следующими техническими характеристиками:

Размеры, мм …… 250×120×65;

Марка по плотности ……... D1500 – D1600

Марка по прочности …….. М25 – М75

Масса, кг ……. 3,0 – 3,1.

Список литературы

1. *Дворкин Л.И., Дворкин О.Л.* Строительные материалы из отходов промышленности // Ростов-на-Дону: Феникс, 2007. – 369 с.

2. *Боженов П.И.* Технология автоклавных материалов // Л.: Стройиздат, 1978. – 368 с.

3. *Ляшкевич И.М.* Эффективные строительные материалы на основе гипса и фосфогипса // Минск: В.Ш., 1989. – 160 с.

4. *Полак А.Ф., Бабков В.В., Андреева Е.П.* Твердение минеральных вяжущих веществ // Уфа: Башкнигоиздат, 1990. – 215 с.

05.13.06

Ф.Д. Байрамов д.т.н., Б.Ф. Байрамов, А.Р. Фардеев к.т.н.

Филиал Казанского (Приволжского) федерального университета в г. Набережные,
факультет автоматизации и прогрессивных технологий,
кафедра теоретической механики и сопротивления материалов,
Набережные Челны, progmast@mail.ru

АВТОМАТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ РАСХОДА ЖИДКОСТИ В ГИДРОСИСТЕМАХ С КОМБИНИРОВАННЫМ ЭНЕРГОПИТАНИЕМ

Предложена система автоматического регулирования расхода жидкости в гидросистеме при комбинированном энергопитании от неветрового двигателя (электродвигателя или ДВС) и ветродвигателя. При этом в зависимости от скорости ветра электронасосный и ветронасосный агрегаты могут работать самостоятельно, а также в режиме подпитки.

Ключевые слова: *гидросистема; регулирование расхода жидкости; комбинированное энергопитание от электродвигателя (ДВС) и ветродвигателя; режим подпитки.*

Постоянно растущие цены на электроэнергию и традиционные виды органического топлива, такие как газ и нефтепродукты, а также их ограниченность делают перспективным использование в гидросистемах (гидроприводах) комбинированного энергопитания, когда для привода насосов применяются обычный неветровой двигатель (электродвигатель или ДВС) и ветродвигатель. Так как скорость ветрового потока постоянно изменяется, то необходимо разработать автоматическую систему, определяющую совместную работу этих двигателей в зависимости от скорости ветра для обеспечения заданного расхода жидкости.

Наиболее подходящим для привода насосов в гидравлических системах является роторный ветродвигатель с воздухозаборником [1].

Схема такого ветродвигателя показана на рис.1. Ротор *1* с вогнутыми лопастями *3* установлен на валу *4* и вращается внутри статора-воздухозаборника *2* с направляющими *5*. Последние предназначены для направления воздушного потока только на вогнутую сторону лопастей ротора, исключая сопротивление потока на лопасти, идущие против ветра. Применение воздухозаборника с направляющими заметно повышает эффективность двигателя. Для регулирования (прекращения) поступления ветра в ротор установлены жалюзи *6*.

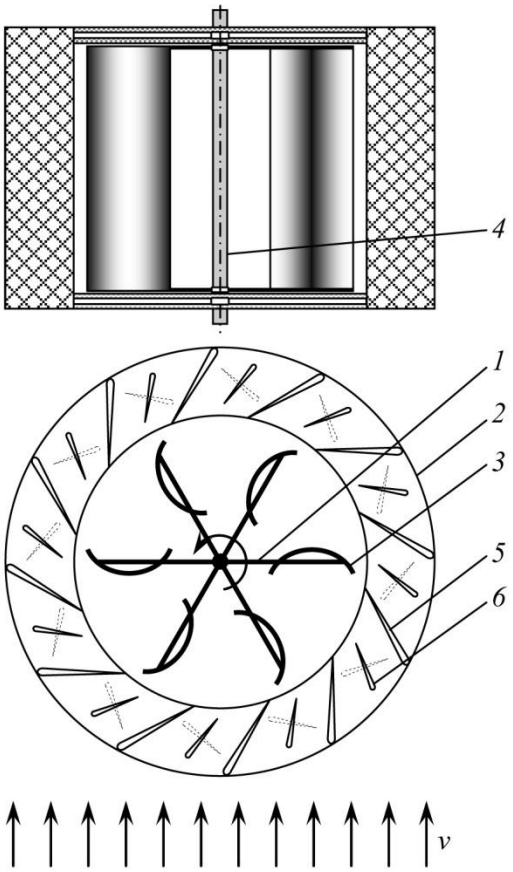


Рисунок 1. Схема роторного ветродвигателя

Недостатком роторных ветродвигателей является их тихоходность. Вместе с тем, роторные ветродвигатели с воздухозаборником по сравнению с крыльчатыми имеют ряд преимуществ:

– небольшая высота башни;

– отсутствие системы ориентации на ветер, что позволяет использовать приземные ветры, постоянно меняющие своё направление;

– простота изготовления лопастей и направляющих воздухозаборника, в частности, из недорогих полимерных материалов;

– возможность расположения исполнительных органов ВЭУ на земле за счёт вертикальной оси. Это очень важно, когда исполнительным органом является насос. Так как, если расположить насос на башне, то высота всасывания увеличивается. Когда давление, создаваемое столбом жидкости, находящимся перед насосом, сравняется с атмосферным, насос перестанет качать жидкость;

– возможность работы при достаточно больших, почти ураганных, и малых скоростях (со среднегодовой скоростью 2 – 5 м/с) ветра;

– безопасность и абсолютная бесшумность, а, следовательно, возможность размещения вблизи производственных и жилых зданий;

– сравнительно небольшая стоимость.

На рис.2 представлена автоматическая система обеспечения расчётного значения расхода жидкости Q_P при совместной работе ветродвигателя с электродвигателем. Система состоит из двух автономных гидролиний с энергопитанием от электродвигателя и от ветродвигателя. Каждая линия имеет свой насос, регулятор расхода жидкости и может работать самостоятельно. Если скорость ветра равна расчётной скорости или выше неё, то заданный расход жидкости обеспечивает только ветродвигатель. Электродвигатель при этом отключён. Наоборот, при малой скорости ветра заданный расход жидкости полностью обеспечивает

электродвигатель.

Система может работать и в режиме подпитки, когда часть Q_1 расхода жидкости обеспечивает ветродвигатель, а недостающую часть $Q_P - Q_1$ даёт электродвигатель. Работу системы в этом режиме обеспечивает звено *5*, соединяющее между собой мембраны преобразователей давления на линиях ветродвигателя и электродвигателя и играющее роль распределителя расхода.

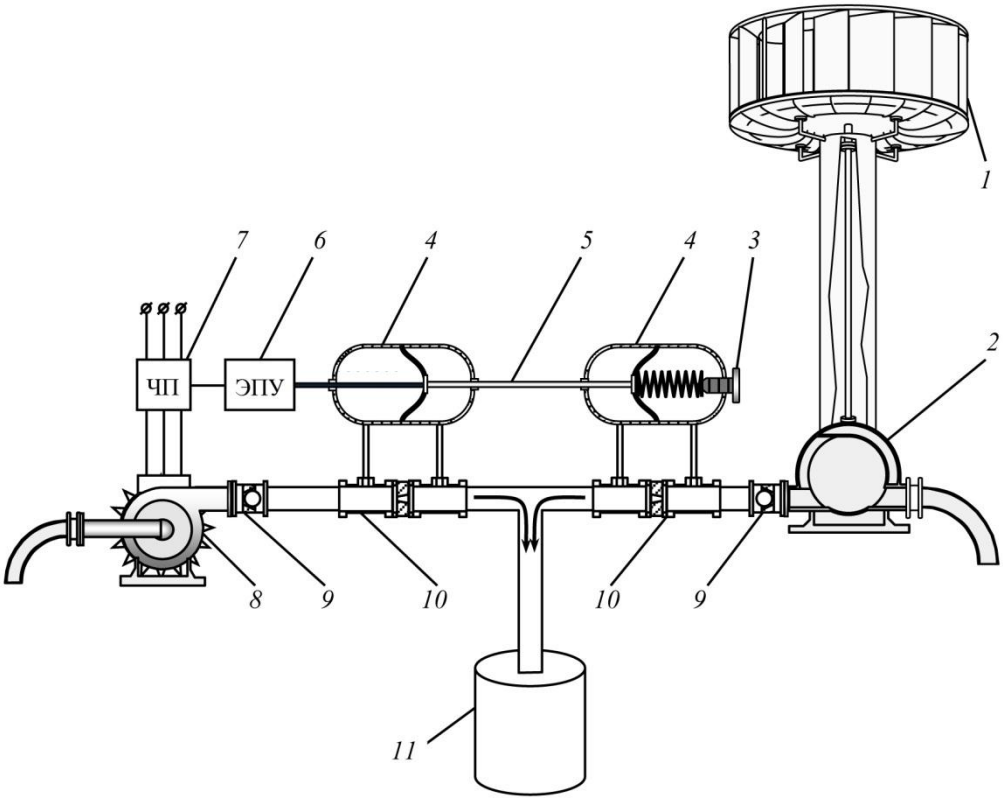


Рисунок 2. Схема автоматизированной системы обеспечения заданного расхода жидкости при совместной работе ветродвигателя с электронасосом:
1 – ветродвигатель; 2 – насос ветродвигателя; 3 – задатчик расхода;
4 – дифференциальные преобразователи давления; 5 – соединительное звено;
6 - электромеханическое преобразующее устройство; 7 – частотный преобразователь;
8 – электронасос; 9 – обратные клапаны; 10 – датчики расхода; 11 – потребитель

Автоматическое регулирование расхода жидкости, подаваемой электронасосом, происходит следующим образом. Датчик расхода, представляющий собой сужающую диафрагму [2], измеряет расход жидкости косвенно через перепад давления. Эта разность давления преобразуется в перемещение мембраны дифференциального преобразователя. Мембрана связана штоком с электромеханическим преобразующим устройством, в котором осуществляется преобразование перемещения штока мембраны в напряжение постоянного тока, пропорциональное этому перемещению. Это напряжение управляет частотным преобразователем. Под воздействием этого управляющего напряжения частотный преобразователь, изменяя частоту напряжения питания, регулирует скорость вращения вала двигателя. Таким образом, осуществляется регулирование расхода подаваемой жидкости. Расчётное значение расхода устанавливается соответствующей затяжкой пружины задатчика *3*.

В режиме подпитки система работает следующим образом. Пусть, например, ветродвигатель обеспечивает расход Q_1, меньший расчётного значения Q_P. При этом мембрана преобразователя давления на линии ветродвигателя смещена на некоторое расстояние h_1, соответствующее расходу Q_1 (рис.3), а мембрана преобразователя давления

на линии электронасоса занимает положение на расстоянии $h_P - h_1$ (h_P – смещение, соответствующее расходу Q_P). При таком смещении мембраны вал электродвигателя вращается с соответствующей частотой и обеспечивает подачу недостающего расхода $Q_P - Q_1$ жидкости.

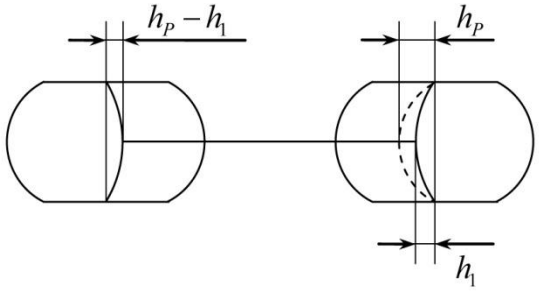


Рисунок 3. Положение мембран преобразователей давления

На рис.4 показана схема автоматической системы обеспечения заданного расхода жидкости при совместной работе ветродвигателя с ДВС.

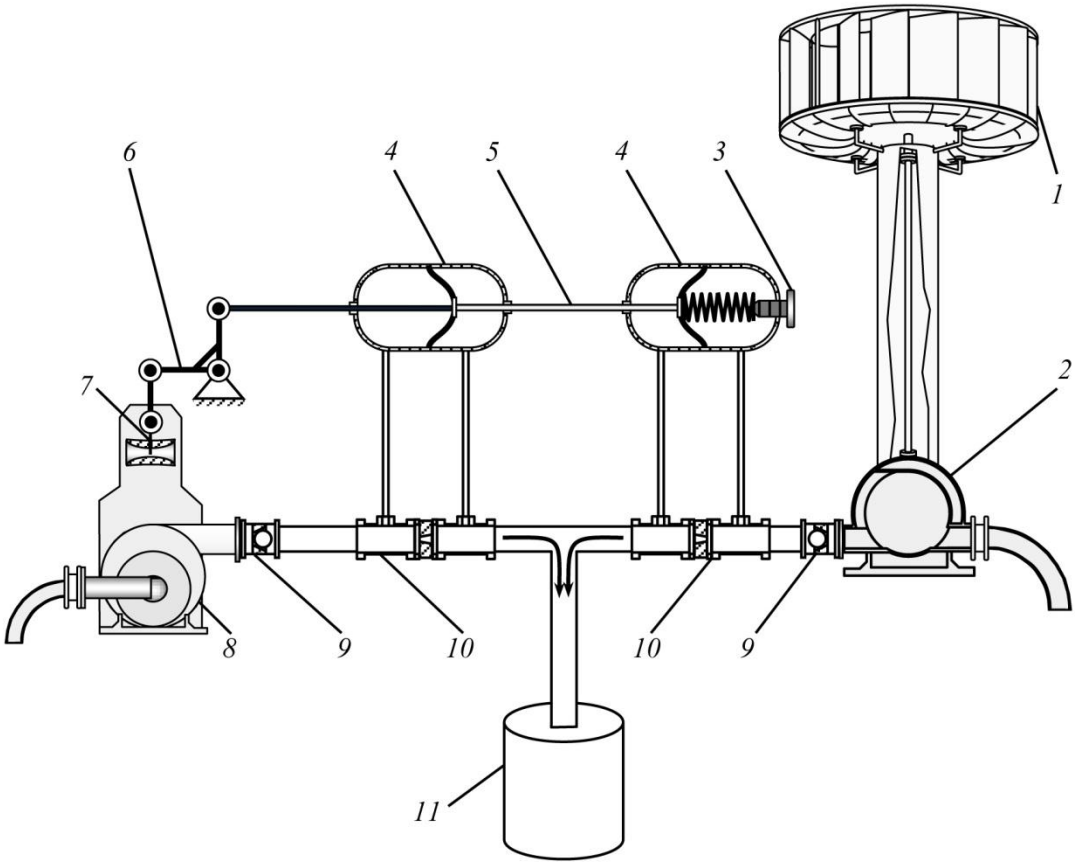


Рисунок 4. Схема автоматизированной системы обеспечения заданного расхода жидкости при совместной работе ветродвигателя с ДВС:
1 – ветродвигатель; 2 – насос ветродвигателя; 3 – задатчик расхода; 4 – дифференциальные преобразователи давления; 5 – соединительное звено; 6 – рычажная система; 7 – заслонка ДВС; 8 – ДВС с насосом; 9 – обратные клапаны; 10 – датчики расхода; 11 – потребитель

Система работает аналогично системе, показанной на рис.2. При достаточной скорости ветра заданный расход жидкости полностью обеспечивает ветродвигатель, при малой скорости ветра – ДВС. Здесь регулирование частоты вращения вала ДВС, а, следовательно, расхода жидкости осуществляется изменением положения заслонки *7*.

Работа системы в режиме подпитки также аналогична работе предыдущей системы. Если мембрана преобразователя давления на линии ветродвигателя смещена на расстояние h_1, меньшее расчётного h_P, и ветродвигатель обеспечивает только часть Q_1 расчётного расхода Q_P, то соединительное звено *5*, смещая мембрану преобразователя давления на линии ДВС на расстояние $h_P - h_1$, открывает заслонку двигателя на соответствующую величину и ДВС даёт недостающую часть Q_P - Q_1 расхода жидкости.

Выводы:

1. Предложен способ автоматического регулирования расхода жидкости в гидросистеме путём управления двигателем насоса.
2. Разработана автоматическая система обеспечения заданного расхода жидкости в гидросистеме при комбинированном энергопитании ветрового и неветрового двигателей.

Список литературы

1. *Байрамов Ф.Д., Мардамшин И.Г.* Исследование функционирования гидравлических систем с ветронасосным агрегатом // Изв. вузов. Авиационная техника. 2008. № 3. С. 59-62.
2. *Лепешкин А.В., Михайлин А.А., Шейпак А.А.* Гидравлика и гидропривод. В двух частях. Часть 2. Гидравлические машины и гидропневмопривод. М.: МГИУ, 2005. 352 с.

05.13.10

Н.Л. Бельская к.п.н., П.А. Савельев

Тобольская государственная социально-педагогическая академия им.Д.И.Менделеева,
физико-математический факультет,
кафедра информатики, теории и методики обучения информатике,
Отдел информационной безопасности,
Тобольск, benaleon@rambler.ru, savelyev-pasha@yandex.ru

АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ МОНИТОРИНГОМ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ВУЗА

В работе представлены структурно-функциональная модель автоматизированной системы управления мониторингом научно-исследовательской деятельности ВУЗа, дано формальное представление личного кабинета субъекта научно-исследовательской деятельности.

Ключевые слова: *формальная модель предметной области, система менеджмента качества, научно-исследовательская деятельность, мониторинг.*

Процесс научно-исследовательской деятельности (НИД) является обязательной и важнейшей составляющей деятельности высшего учебного заведения и регламентируется требованиями международных стандартов серии ГОСТ Р ИСО 9000:2001, внешними нормативно-методическими документами Министерства образования и науки РФ, документированными процедурами системы менеджмента качества вуза (СМК ВУЗа). Одним из наиболее эффективных методов обеспечения оптимизации управленческих процессов НИД является автоматизация базовых рабочих процессов, обозначенных в СМК ВУЗа, при условии соблюдения основных принципов менеджмента: ориентация на заказчика продукции; лидерство руководства; вовлечение всех сотрудников в процесс достижения запланированного качества результата НИД; процессный подход в управлении НИД; системный подход к управлению НИД; постоянное улучшение качества результатов НИД; принятие решений и корректировка действий, основанные на фактах; минимизация затрат (кадровых, временных, материально-технических) на достижение запланированного результата; совершенствование отношений с субъектами управления НИД.

В данной работе показаны подходы к управлению мониторингом научно-исследовательской деятельности ВУЗа, применяемые в Тобольской государственной социально-педагогической академии им. Д.И.Менделеева (ТГСПА им. Д.И.Менделеева) на основе АСУ «Мониторинг НИД ВУЗа». АСУ «Мониторинг НИД ВУЗа» разрабатывается в рамках проекта «Электронный вуз» «Программы стратегического развития ТГСПА им.Д.И.Менделеева до 2016 года». Основная цель данного проекта заключается в проектировании, разработке и внедрении программно-технической платформы вуза, структурными компонентами которой, являются программно-технические модули, позволяющие оказывать электронные услуги во всех сферах деятельности академии.

В процессе разработки АСУ «Мониторинг НИД ВУЗа» ключевой являлась проблема моделирования предметной области. Для анализа и обследования существующих корпоративных процессов в области НИД вуза применялась методология IDEF-, DFD-моделирования и SWOT-анализ. В результате функционально-структурного и объектно-ориентированного анализа предметной области были построены контекстные диаграммы AS-IS и TO-BE, диаграммы потоков данных, диаграммы реализации прецедентов, выявлены классы объектов и построена их онтология.

В соответствии с СМК НИД ВУЗа, в качестве базовой учетной единицы в НИД определен субъект НИД. В качестве основных рабочих процессов в структуре управления

мониторингом НИД ВУЗа выделены процессы планирования и отчетности, которые реализуются на различных уровнях: уровне субъекта НИР, уровне лабораторий, кафедр, факультетов и вуза в целом. Идентификация данных процессов в качестве основных, обусловлена увеличением числа отчетных документов в вышестоящие структуры, как правило, небольшими сроками формирования отчетов, и, соответственно, необходимостью проведения планового и экстренного внутреннего аудита НИД ВУЗа.

Так как, в качестве базовой учетной единицы определен субъект НИД, которым является преподаватель и (или) аспирант (докторант) вуза, или студент (бакалавр, магистрант) возникла необходимость в формальном представлении личного информационного пространства (личного кабинета) субъекта НИД в зависимости от выполняемых ролей. Формально личный кабинет субъекта НИД можно описать следующим образом: $(S, O,\ N^D, M^D)$, где S - множество доступных ролей для субъекта НИД; O - множество доступных элементов личного кабинета субъекта НИД; N^D – базовая матрица доступных объектов для конкретной роли, в которой строки соответствуют ролям S_i, а столбцы соответствующим объектам O_j; M^D – матрица доступных ролей субъекта НИД, в которой строки соответствуют конкретному субъекту, а столбцы его ролям.

Множество доступных ролей субъекта НИД $S = \{S_i\}_{i=1,5}$ будет содержать пять элементов: S_1 – роль «Преподаватель кафедры»; S_2 – роль «Аспирант – соискатель (докторант)»; S_3 – роль «Студент, участвующий в НИД кафедры»; S_4 – роль «Научный руководитель (научный консультант) аспиранта – соискателя (докторанта) кафедры»; S_5 – роль «Научный наставник студента». Множество доступных элементов личного кабинета субъекта НИД $O = \{O_i\}_{i=1,6}$ будет содержать шесть элементов: O_1 – элемент личного кабинета «Результаты НИД»; O_2 – элемент личного кабинета «Учебная деятельность аспиранта (соискателя)»; O_3 – элемент личного кабинета «Диссертация»; O_4 – элемент личного кабинета «Руководство аспирантами, соискателями. Научное консультирование»; O_5 – элемент личного кабинета «Научное наставничество»; O_6 –элемент личного кабинета «Личные данные».

Тогда матрица доступных ролей M^D для разных субъектов НИД кафедры может быть представлена в виде Таблицы 1. Базовая матрица доступных объектов для определенной роли субъекта НИД N^D определяется нами статично в виде Таблицы 2.

Таблица 1 – Пример матрицы доступных ролей для субъекта НИД - M^D

Субъект НИД	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5
Преподаватель 1	1	1	0	0	1
Преподаватель 2	1	0	1	1	1
Аспирант 1	0	1	0	0	1
Докторант 1	1	1	0	1	1
Студент 1	0	0	0	0	1

Таблица 2 – Базовая матрица доступных объектов для определенной роли субъекта НИД - N^D

	O_1	O_2	O_3	O_4	O_5	O_6
S_1	1	0	0	0	0	1
S_2	0	1	1	0	0	1
S_3	1	0	0	0	0	0
S_4	0	0	0	1	0	0
S_5	0	0	0	0	1	0

Таким образом, структура личного кабинета для субъекта НИД Преподаватель 1 из Таблицы 1 будет автоматически определена на основе матрицы $N^D_{\text{Преподаватель 1}}$, значения которой заданы множеством ролей $S = \{S_1, S_2, S_5\}$ и представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Матрица личного кабинета $N^D_{\text{Преподаватель 1}}$ с множеством ролей $S = \{ S_1, S_2, S_5\}$

	O_1	O_2	O_3	O_4	O_5	O_6
S_1	1	0	0	0	0	1
S_2	0	1	1	0	0	1
S_5	0	0	0	0	1	0

На Рис. 1 представлен интерфейс личного кабинета *Преподавателя 1* с множеством ролей $S = \{S_1, S_2, S_5\}$: S_1 - Преподаватель кафедры; S_2 - Аспирант – соискатель (докторант); S_5 - Научный наставник студента.

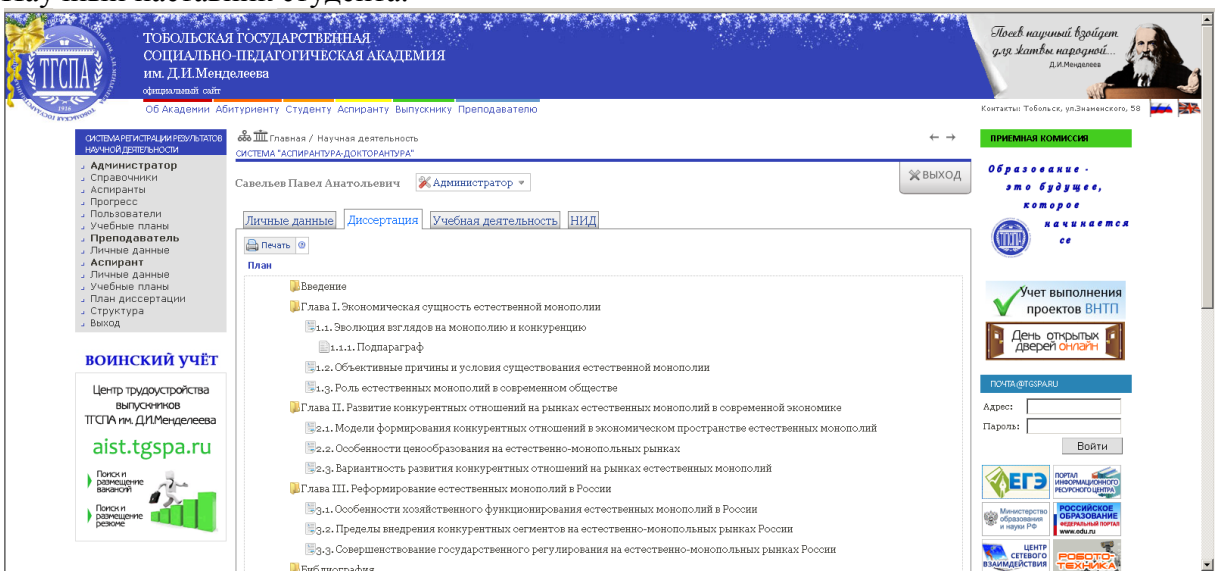


Рис. 1 - Внешний вид личного кабинета *Преподавателя 1* с множеством ролей $S = \{S_1, S_2, S_5\}$

Для программного проектирования автоматизированной системы была выбрана объектно-ориентированная методология. Структурно-функциональная модель АСУ «Мониторинг НИД ВУЗа» представлена на Рис. 2. В целом работа с АСУ «Мониторинг НИД ВУЗа» построена на основе web-интерфейса, это делает систему более гибкой и мобильной, позволяет обеспечить необходимое число рабочих мест. Система связана с уже разработанными системами: ИС «Кадры», АСУ «Учебная деятельность. Аспиранты», АСУ «Научно-технические мероприятия», АСУ «Научно-техническая программа вуза», АСУ «Научное признание» и др. Доступ к системе обеспечивается через модуль управления разграничением доступа, который реализован на основе процессно-ролевого подхода. Для реализации базовых рабочих процессов предусмотрены два режима работы пользователей [1]: режим квазиавтономного управления «пользователь – информационная среда» (уровень самоорганизации) и режим иерархического подчинения «пользователь – пользователь» (в рамках организационной структуры). Структура и динамика базовых рабочих процессов ограничена по времени (по датам отчетности).

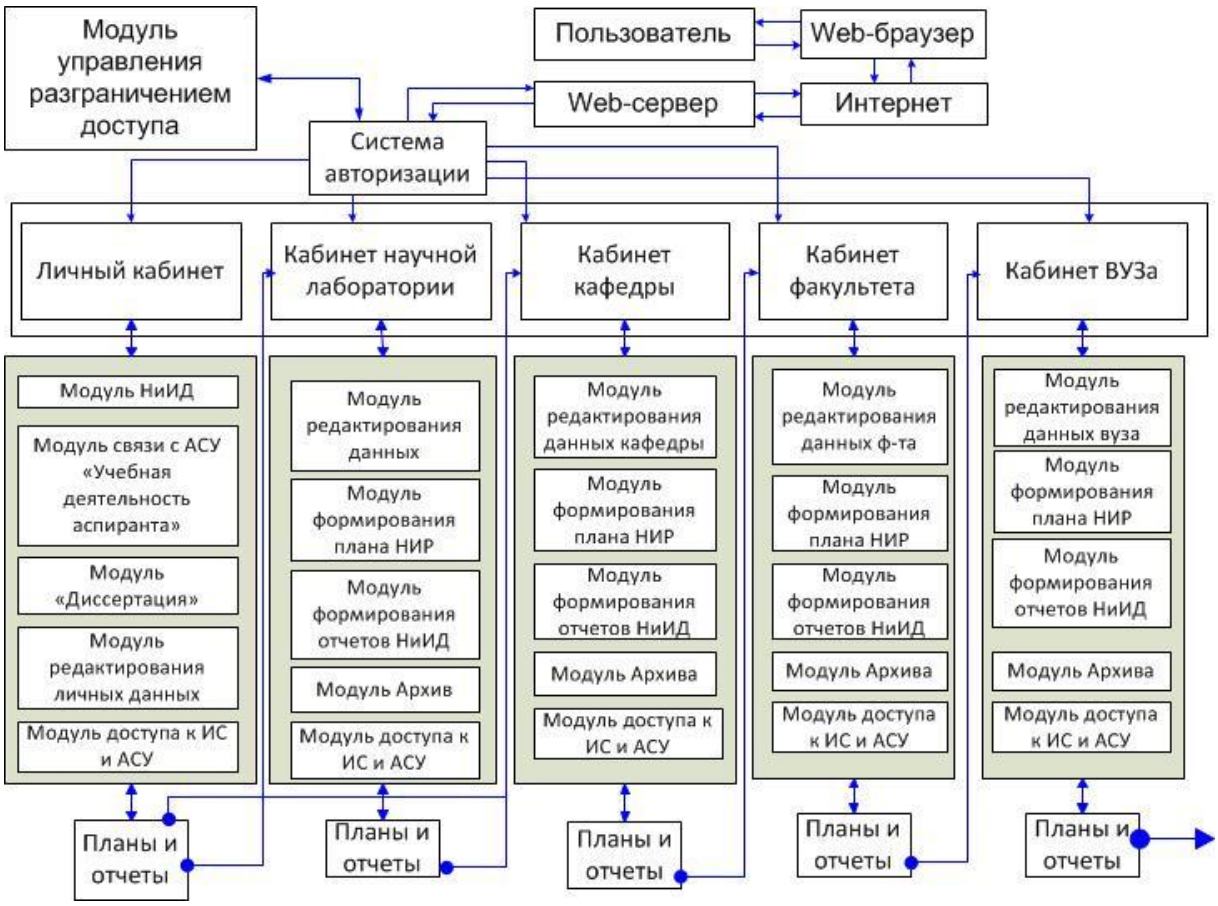


Рис. 2 - Структурно-функциональная модель АСУ «Мониторинг НиИД ВУЗа»

Разработанный подход к проектированию АСУ «Мониторинг НИД ВУЗа» позволяет сделать более качественными процессы управленческого учета, создает условия для экономии временного ресурса и позволяет формировать точки ответственности субъектов НИД на всех уровнях цикла PDCA ((Plan – планирование, Do – выполнение, Check – проверка/контроль, Act - действие). Разработанная структурно-функциональная модель может быть использована не только для организации мониторинга НИД ВУЗа, но и как элемент внедряемой в вузах системы эффективных контрактов с профессорско-преподавательским составом.

Список литературы

1. *Игнатова И.Г.* Корпоративные электронные информационные среды поддержки научно-образовательной деятельности на основе процессно-ролевого подхода: автореферат дис. доктора технических наук: 05.13.01 / Моск. гос. ин-т электронной техники. – Москва, 2005, – 265 с.

05.22.07

А.П. Буйносов д.т.н., К.А. Стаценко к.т.н., Е.В. Бган, Я.А. Мишин

Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС),
кафедра «Электрическая тяга»,
Екатеринбург, byinosov@mail.ru, kstatsenko@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЧИН ПОВРЕЖДЕНИЯ ПОДШИПНИКОВ ТЯГОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОВОЗОВ

Исследованы основные причины образования дефектов подшипников тяговых двигателей электровозов постоянного тока, причины их возникновения.

Ключевые слова: *электровоз, тяговый электродвигатель, подшипник, дефект, электроожог, монтажный задир.*

Роликовые подшипники тяговых двигателей электровозов в соответствии с правилами ремонта тяговых электрических машин должны заменяться при их капитальных ремонтах (при пробеге 2400 и 3600 тыс. км, в зависимости от серии грузового электровоза), но из-за многочисленных дефектов приходиться производить их смену ранее указанных сроков [1].

В таблице представлены данные о дефектах подшипников тяговых двигателей грузовых электровозов постоянного тока в ремонтных локомотивных депо Свердловск и Зауралье – структурные подразделения Свердловской и Южно-Уральской дирекций по ремонту тягового подвижного состава полученные в 2012 г. Как видно из таблицы к основным дефектам подшипников тяговых двигателей электровозов постоянного тока относятся монтажные задиры и электроожоги.

В результате проведенного специалистами Уральского государственного университета путей сообщения и ОАО «НИИЖТ» анализа технологических приемов разборки, ремонта и сборки подшипниковых узлов выявлена причина появления монтажных задиров моторно-якорных подшипников (МЯП) – несовершенство технологического процесса сборки тягового электродвигателя электровоза [2], что должно быть предметом отдельного исследования.

Таблица – Дефекты подшипников качения тяговых двигателей электровозов постоянного тока

Дефекты подшипников	Ремонтные локомотивные депо			
	Свердловск		Зауралье	
	количество	%	количество	%
Коррозийные раковины на дорожке качения наружного колеса	12	6,0	5	0,6
Монтажные задиры на поверхности качения роликов, щелушение («рябина») поверхности роликов	51	25,4	227	28,1
Износ центрирующих поверхностей сепаратора (при трении о борт колеса)	17	8,5	24	3,0
Забоины на сепараторе	9	4,4	9	1,1
Электроожоги на дорожке качения наружного колеса	–	–	60	7,4
Электроожоги на поверхности роликов	89	44,3	206	25,5
Прочие дефекты	23	11,4	277	34,3
Всего	201	100	808	100

На электровозах постоянного тока самый большой процент замены МЯП тяговых двигателей приходится на дефекты от повреждения электрическим током [3]. Как известно, на первых отечественных электровозах заземление электрической цепи выполнялось на остовы тяговых двигателей [4]. При этом тяговый ток электровоза проходил через моторно-осевые (МОП) и МЯП, вызывая их электроожоги [5, 6].

Для снижения повреждений подшипников специалистами Уральского отделения ОАО «НИИЖТ» были созданы устройства, токоотводящие провода которых с выровненными омическими сопротивлениями выведены на торцы осей колесных пар.

Исследованиями научных сотрудников Уральского государственного университета путей сообщения, проведенными на моторных вагонах электропоездов, установлено, что металл поверхности трения разрушается под действием тока, когда превышена величина условной плотности тока [7–9]:

$$j = I / ld > 0{,}25–0{,}3,$$

где I – ток, проходящий через подшипник; l – длина окружности подшипника; d – диаметр подшипника.

Кроме того, установлено, что, например, на электровозах ВЛ11 по заземляющим проводам проходило от 9 до 25,5 % тока электровоза, что превышало его среднее значение почти в два раза. Такое превышение было связано с величиной омического сопротивления цепей заземления и боксования колесных пар, изменяющих сопротивление цепи «колесо–рельс». Распределение токов между МОП и МЯП не измерялось [10].

Авторами разработана принципиальная схема прохождения тягового электрического тока на электровозе ВЛ11 с учетом ранее не учтенного возможного прохода тягового тока через МОП и МЯП, приведенная на рисунке. При установке токосъемных устройств ток, проходя через тяговые двигатели, попадает на сборную шину, а оттуда по проводам равного сопротивления проходит по оси и бандажам колесных пар в головки рельсов [11–13]. В то же время сохранены цепи заземления сборной шины на остовы типовых двигателей, где ток, пробивая масляную пленку, распределяется пропорционально сопротивлениям цепи по двум направлениям: через МОП в шейку оси и через бандажи колесных пар в «землю» (рельс) [14]; через обоймы роликов в вал якоря, шестерни, зубчатые колеса, колесные центры, бандажи в «землю» (рельс) [15, 16].

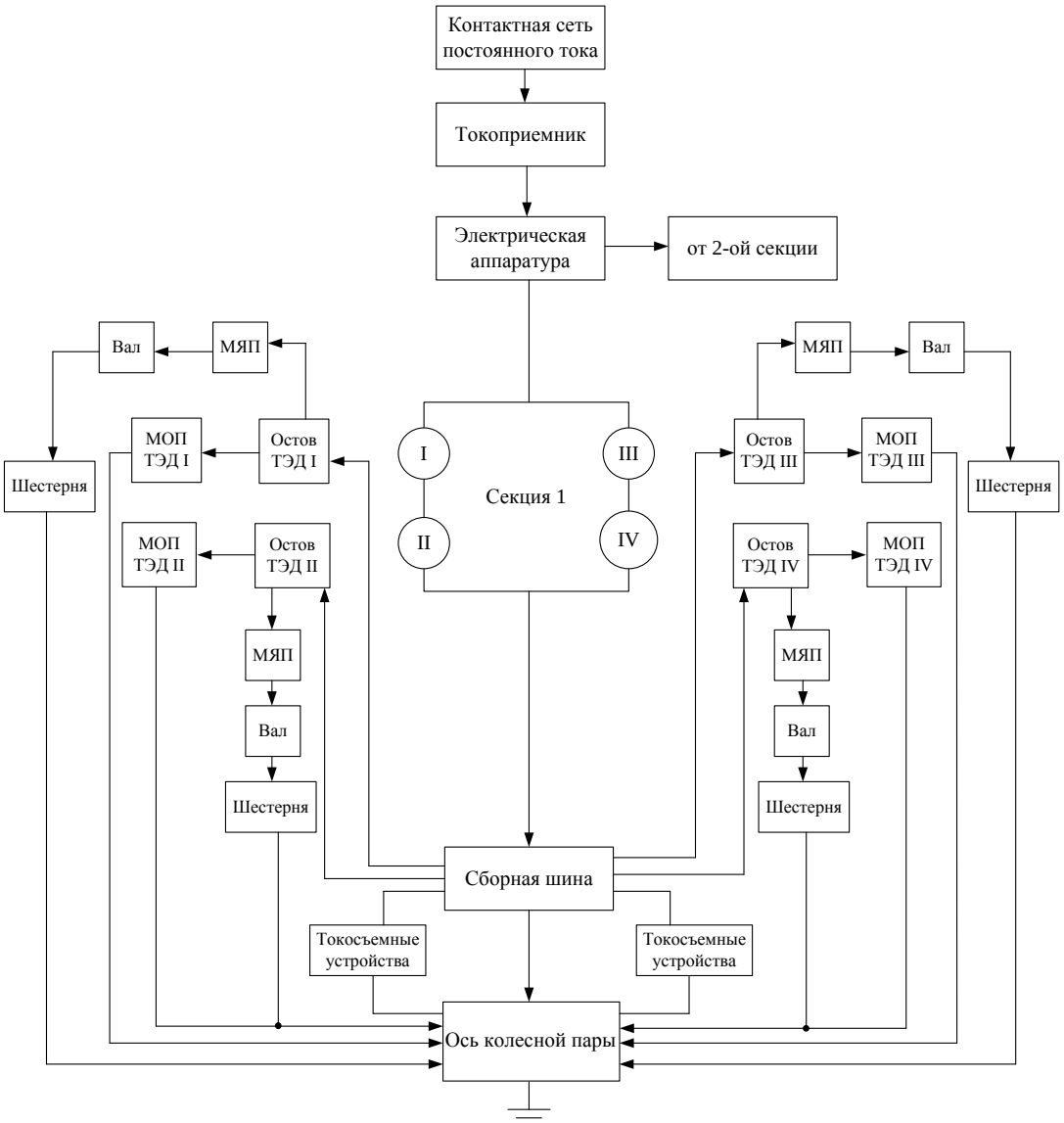


Рис. Схема прохождения электрического тока на электровозе ВЛ11 с учетом возможного прохода тягового тока через МОП и МЯП

При эксплуатации электровозов возможны аварийные режимы: пробой изоляции якорей, круговой огонь по поверхностям коллекторов, «перебросы» на заземленные части [17]. Расчеты показали, что при аварийных режимах, связанных с пробоем изоляции обмоток якорей и круговыми огнями, ток короткого замыкания составляет 3100 А, а в течение 0,003 с достигает 13600 А [18]. Такой ток, проходя через роликовые подшипники, разрушает их поверхности [19, 20].

Таким образом, выявлены причины появления основных дефектов подшипников тяговых электродвигателей электровозов, т. е. монтажных задиров и электроожогов на их поверхностях.

Список литературы

1. *Наговицын В.С., Боярских Г.С., Буйносов А.П.* Уральский характер (Свердловской дороге – 120 лет) // Локомотив. 1998. № 10. С. 8-10.
2. *Буйносов А.П., Мишин Я.А.* Повышение долговечности опорных цилиндрических роликовых подшипников тягового привода пассажирского электровоза // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 6. С. 151-154.
3. *Буйносов А.П., Мишин Я.А.* Повышение надежности тяговых редукторов электровозов // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 3. С. 85-89.
4. *Буйносов А.П., Козаков Д.Ю.* Анализ процессов эксплуатационного износа гребней бандажей колесных пар электровозов // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 3. С. 79-84.
5. *Буйносов А.П., Кислицын А.М.* Измерение и вычисление параметров колесной пары при движении локомотива // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 4. С. 54-58.
6. *Буйносов А.П., Пышный И.М., Тихонов В.А.* Ремонт локомотивов без прекращения их эксплуатации // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2012. Т. 60. № 1. С. 85-91.
7. *Буйносов А.П.* Оценка применяемых материалов бандажей колесных пар и рельсов // Тяжелое машиностроение. 2000. № 11. С. 16-20.
8. *Буйносов А.П., Цихалевский И.С., Бунзя А.В.* Влияние перекоса колесной пары на износ гребней бандажей // Локомотив. 1998. № 12. С. 26-27.
9. *Буйносов А.П., Стаценко К.А., Бган Е.В.* Повышение прочности посадки деталей с натягом сформированных колесных пар электровозов // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 5. С. 118-120.
10. *Буйносов А.П.* Еще раз об износе колеса и рельса // Путь и путевое хозяйство. 2010. № 9. С. 23-26.
11. *Буйносов А.П.* Модель эксплуатационного износа сложных систем железнодорожного транспорта // Вестник транспорта Поволжья. 2010. № 4. С. 21-25.
12. *Буйносов А.П.* Влияние лубрикации на тяговые свойства электровоза ВЛ11 // Вестник РГУПС. 2011. № 1. С. 39-43.
13. *Буйносов А.П. Цихалевский И.С.* Перекос колесной пары относительно рамы тележки электровоза и износ гребней бандажей // Вестник Российской Академии транспорта. Уральское межрегиональное отделение. 1998. С. 133-135.
14. *Буйносов А.П., Худояров Д.Л.* Повышение ресурса бандажей колесных пар электровозов ВЛ11 // Железнодорожный транспорт. 2010. № 9. С. 47-48.
15. *Буйносов А.П., Стаценко К.А.* Повышение ресурса колесных пар электровозов технологическими методами: Монография. – Саарбрюккен, Germany (Германия): Изд-во «LAP LAMBERT Academic Publishing», 2012. 215 с.
16. *Буйносов А.П.* Основные причины интенсивного износа бандажей колесных пар подвижного состава и методы их устранения. – Екатеринбург : Изд-во УрГУПС, 2009. 224 с.
17. *Балдин В.Л., Буйносов А.П.* Автоматическая система мониторинга состояния бандажей колесных пар тягового подвижного состава // Вестник Всероссийского научно-исследовательского и проектно-конструкторского института электровозостроения. 2010. № 2. С. 113-125.
18. *Буйносов А.П., Тихонов В.А.* Универсальная модель оценки износа бандажей колесных пар локомотивов // Известия Транссиба. 2012. № 2. С. 16-23.
19. *Буйносов А.П.* Контроль бандажей колесных пар // Локомотив. 1991. № 9. С. 36.
20. *Буйносов А.П.* Прибор для измерения параметров бандажей колесных пар тягового подвижного состава // Тяжелое машиностроение. 2011. № 3. С. 17-19.

05.22.07

А.П. Буйносов д.т.н., К.А. Стаценко к.т.н., Е.В. Бган, Е.А. Гузенкова, Я.А. Мишин

Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС),
кафедра «Электрическая тяга»,
Екатеринбург, byinosov@mail.ru, kstatsenko@mail.ru

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ РОЛИКОВЫХ ПОДШИПНИКОВ ТЯГОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОВОЗОВ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Описаны разработка и результаты исследований по защите роликовых подшипников от повреждения электрическим током путем применения эластомера ГЭН-150В, а также защитных экранов из фторопласта-4, предназначенных для установки в тяговые двигатели с целью гашения коммутационного искрения и предотвращения вспышки кругового огня на коллекторе с последующим перебросом тягового тока через роликовые якорные подшипники.

Ключевые слова: *электровоз, тяговый электродвигатель, роликовый подшипник, надежность, эластомер, защитный экран.*

Специалисты УрГУПС и ОАО «НИИЖТ» проводят систематические исследования по улучшению работоспособности роликовых подшипников, в том числе и по снижению повреждений подшипников от прохождения по ним значительных значений тока, вызывающих электроожоги поверхностей роликов [1, 2].

Повреждения током подшипников электроподвижного состава были выявлены и зарубежными специалистами [3]. Например, широко известная шведская фирма SKF, чтобы предотвращать разрушения роликовых подшипников, вызываемые прохождением по ним электрического тока, создала специальные подшипники INSOCOAT™ с электроизоляционным слоем на наружной стороне обоймы (рис. 1).

Рис. 1. Подшипники INSOCOAT™

На отечественных локомотивах в качестве временной меры для защиты роликовых подшипников тяговых двигателей от повреждения электрическим током следует при ТР-3, СР и КР применять герметизирующий эластомер ГЭН-150(В) [4]. Он рекомендован действующей Инструкцией по техническому обслуживанию и ремонту № ЦТ/330 и предназначен для восстановления размеров посадочных поверхностей обойм роликовых

подшипников [5], валов и др. Эластомер представляет собой продукт сочетания нейтрального каучука марки СКН со смолой ВДУ [6]. Эластомер может применяться в качестве клеев, растворов, паст, замазок с различной твердостью и эластичностью [7, 8]. Максимальная толщина пленки, которую рекомендуется наносить на восстанавливаемую поверхность, составляет около 1,1 мм. При твердости 185 НВ, прочности на сжатие свыше 1000 Н/см^2 электрическое сопротивление пленки толщиной 100 мк составляет 3000 Мом [9].

В руководстве по применению эластомера ГЭН-150(В) при ремонте локомотивов даются расширенные рекомендации по посадке подшипников с использованием нанесения пленок с помощью центробежной заливки. Для защиты роликовых подшипников тяговых двигателей необходимо центробежным способом покрывать наружные обоймы подшипников пленкой толщиной 0,1–0,3 мм, растачивать посадочные гнезда боковых щитов с учетом нормативного посадочного натяга и запрессовывать подшипники в щиты в соответствии с установленными усилиями [10]. Согласно физическим свойствам создаваемая пленка на поверхности наружного кольца имеет электрическое сопротивление более 3000 МОм и является почти идеальным защитным изолятором подшипника [11]. Применение эластомера позволит улучшить защиту подшипников от повреждений электрическим током [12].

Действенной мерой защиты роликовых подшипников от электрических токов при круговых огнях по коллектору в условиях эксплуатации явилось бы применение полимерных экранов из фторопласта на поверхности коллектора. Их следует внедрять на коллекторных двигателях электровозов, находящихся в эксплуатации и вновь проектируемых [13]. Фторопластовые экраны предназначены главным образом для гашения коммутационного искрения около электрощеток. Установка экранов в непосредственной близости от щеток со скольжением по коллектору создает эффективное препятствие распространению по нему искр и дуги, вылетающих из-под щеток, не позволяя им достигать зоны максимальных напряжений между ламелями. Этим самым снижается опасность появления перебросов электрической дуги по коллектору и на корпус машины [14].

Фторопласт имеет белую окраску напоминающую на ощупь поверхность парафина [15]. Основные технико-механические и электрические свойства фторопласта:

– плотность	2,2–2,3 × 10^3 кт/м^2;
– твердость по Бринеллю	3–4 кс/мм (30–40 Н/мм);
– статический коэффициент трения	0,05;
– рабочая температура	–269 – +260 °С;
– дугостойкость	240 °С;
– мгновенная электрическая прочность при толщине образца 0,25 мм	40 кВ/мм.

По форме экраны охватывают в зазоре между коллектором и щеткой весь периметр электрометок и перекрывают от 2 до 3 ламелей у обоих концов щеток [16, 17]. На рис. 2 показана схема расположения защитного экрана.

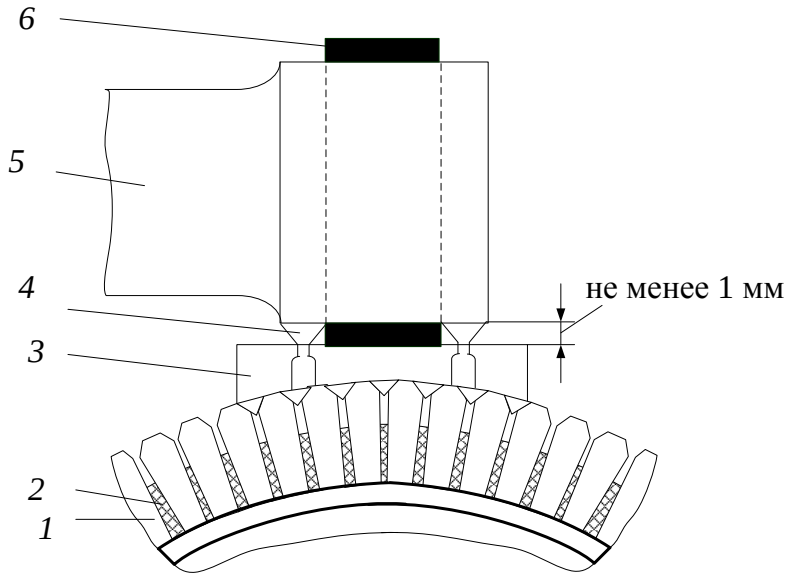


Рис. 2. Расположение экрана тягового двигателя на коллекторе:
***1* – пластина коллектора; *2* – изоляция миканитовая;**
***3* – экран защитный, полимерный (фторопласт 4);**
***4* – элемент резиновый; *5* – корпус меткодержателя; *6* – щетка**

В этой конструкции резиновый элемент выполняет роль пружины, прижимающей экран к коллектору [18]. Производство таких конструкций экранов было организовано на Нижне-Тагильском заводе пластмасс.

Произведенный расчет показал, что потери на трение экранов о коллектор двигателя ТЛ-2К не превышают 60 Вт. В то же время потери на трение щеток о коллектор указанного двигателя достигают 1880 Вт [19], т. е. более, чем в 30 раз больше. Иначе говоря, потери от трения экранов составляют всего лишь 3,2 % потерь от трения щеток о коллектор.

Оборудование тяговых двигателей фторопластовыми экранами исключает, во-первых, установку щеткодержателей с недопустимыми отступлениями и, во-вторых, защищает коллекторы от тяжелых повреждений щеткодержателями при ослаблении их крепления (кроме случаев выпадения крепящего болта). Такие защитные функции экранов следует считать тем более полезными, поскольку на эксплуатируемом электроподвижном составе наблюдаются задиры коллекторов [20].

Список литературы

1. *Буйносов А.П., Мишин Я.А.* Повышение долговечности опорных цилиндрических роликовых подшипников тягового привода пассажирского электровоза // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 6. С. 151-154.
2. *Буйносов А.П., Мишин Я.А.* Повышение надежности тяговых редукторов электровозов // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 3. С. 85-89.
3. *Буйносов А.П., Стаценко К.А.* Повышение ресурса колесных пар электровозов технологическими методами: Монография. – Саарбрюккен, Germany (Германия): Изд-во «LAP LAMBERT Academic Publishing», 2012. 215 с.
4. *Буйносов А.П.* Методы повышения ресурса бандажей колесных пар тягового подвижного состава: Дисс. на соискание уч. ст. докт. техн. наук. – Екатеринбург, 2011. 455 с.
5. *Буйносов А.П., Пышный И.М., Тихонов В.А.* Ремонт локомотивов без прекращения их эксплуатации // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2012. Т. 60. № 1. С. 85-91.
6. *Буйносов А.П., Стаценко К.А., Бган Е.В.* Повышение прочности посадки деталей с натягом сформированных колесных пар электровозов // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 5. С. 118-120.
7. *Буйносов А.П., Пышный И.М., Тихонов В.А.* Определение натяга бандажа на ободе колесного центра локомотива // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2011. № 3. С. 62-68.
8. *Буйносов А.П., Наговицын В.С.* Как повысить надежность бандажей // Локомотив. 1999. № 7. С. 36-38.
9. *Буйносов А.П.* Оценка применяемых материалов бандажей колесных пар и рельсов // Тяжелое машиностроение. 2000. № 11. С. 16-20.
10. *Буйносов А.П., Стаценко К.А., Тихонов В.А.* Совершенствование методики контроля шероховатости посадочной поверхности бандажей колесных пар локомотивов // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. 2011. № 4. С. 23-30.
11. *Буйносов А.П., Козаков Д.Ю.* Анализ процессов эксплуатационного износа гребней бандажей колесных пар электровозов // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 3. С. 79-84.
12. *Буйносов А.П., Стаценко К.А.* Методика определения величины натяга бандажа на ободе колесного центра локомотива с помощью ультразвуковых импульсов // Проблемы машиностроения и автоматизации. 2012. № 4. С. 100-106.
13. *Буйносов А.П.* Модель эксплуатационного износа сложных систем железнодорожного транспорта // Вестник транспорта Поволжья. 2010. № 4. С. 21-25.
14. *Наговицын В.С., Боярских Г.С., Буйносов А.П.* Уральский характер (Свердловской дороге – 120 лет) // Локомотив. 1998. № 10. С. 8-10.
15. *Буйносов А.П.* Основные причины интенсивного износа бандажей колесных пар подвижного состава и методы их устранения. – Екатеринбург : Изд-во УрГУПС, 2009. 224 с.
16. *Балдин В.Л., Буйносов А.П., Тихонов В.А.* Повышение долговечности колесных пар за счет упрочнения гребней бандажей локомотивов // Вестник транспорта Поволжья. 2011. № 5(29). С. 57-60.
17. *Буйносов А.П.* Блок управления системы гребнесмазывания тепловозов // Транспорт: наука, техника, управление. 2012. № 12. С. 53-55.
18. *Буйносов А.П., Наговицын В.С.* Система бесконтактного измерения бандажей // Локомотив. 1995. № 12. С. 27-28.
19. *Буйносов А.П. Цихалевский И.С.* Перекос колесной пары относительно рамы тележки электровоза и износ гребней бандажей // Вестник Российской Академии транспорта. Уральское межрегиональное отделение. 1998. С. 133-135.
20. *Буйносов А.П., Цихалевский И.С., Бунзя А.В.* Влияние перекоса колесной пары на износ гребней бандажей // Локомотив. 1998. № 12. С. 26-27.

05.22.07

А.П. Буйносов д.т.н., К.А. Стаценко к.т.н., Е.В. Бган, Я.А. Мишин

Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС),
кафедра «Электрическая тяга»,
Екатеринбург, byinosov@mail.ru, kstatsenko@mail.ru

РАЗРАБОТКА СПОСОБА ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ МОНТАЖНЫХ ЗАДИРОВ ЯКОРНЫХ ПОДШИПНИКОВ ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОВОЗОВ

Проанализированы причины появления монтажных задиров якорных подшипников электровозов, даны рекомендации по их предотвращению путем применения модернизированного стенда для сборки тяговых электродвигателей, специально изготовленной защитной пробки.

Ключевые слова: *электровоз, тяговый электродвигатель, якорный подшипник, монтажный задир, стенд для сборки, защитная пробка.*

Роликовые подшипники тяговых двигателей (ТЭД) электровозов являются ответственными узлами электровозов [1]. Разрушение их приводит к заклиниванию колесно-моторных блоков, возникновению ползунов на поверхности катания бандажей [2] и как следствие, к длительным задержкам поездов, срыву графика и нарушению безопасности движения [3]. Для предотвращения подобных случаев в последнее время получила развитие вибродиагностирование [4] подшипников качения на текущих ремонтах электровозов [5], которое продолжается несколько часов. Оно сократило количество случаев разрушения роликовых подшипников, но устранить их полностью не удалось [6].

Для контроля состояния подшипников при разборках в роликовых отделениях электромашинных цехов производится тщательный осмотр и регистрация всех новых и ремонтируемых подшипников качения в журнале формы ТУ-92 с классификацией неисправностей [7], утвержденной правлением ОАО «РЖД». Отметим, что для повышения эффективности контроля состояния подшипников следует применить микроскопы с большой разрешающей способностью и значительно увеличить нормы затрат времени специалиста на осмотр элементов подшипника [8], а также разработать систему автоматической диагностики подшипников на основе компьютерной идентификации поверхности с нормативными образцами [9].

В таблице приведены дефекты роликовых подшипников качения ТЭД электровозов переменного тока в ремонтном локомотивном депо Аркаим (г. Карталы Челябинской области), из которой видно, что основные дефекты подшипников на этих электровозах связаны с монтажными задирами поверхностей.

Таблица – Дефекты роликовых подшипников качения тяговых двигателей электровозов переменного тока

Дефекты подшипников качения	Количество	%
Коррозийные раковины на дорожке качения наружного колеса	12	1,9
Трещины и изломы перемычек сепаратора	20	3,1
Забоины на секторе	101	15,7
Электроожоги на дорожках качения внутреннего колеса	6	0,9
Электроожоги на поверхностях роликов	23	3,6
Рифление на поверхности ролика	4	0,6
Монтажные задиры на поверхности качения роликов	121	18,8
Перегрев внутреннего колеса с возникновением цветов побежалости	10	1,6
Прочие дефекты	346	53,8
Всего	643	100

Таким образом, монтажные задиры подшипников при установке якоря в остов составляют около 20 % неисправностей роликовых подшипников ТЭД электровозов переменного тока. Стоимость роликовых подшипников применяемых в ТЭД достаточно высокая [10], поэтому специалистами кафедры «Электрическая тяга» Уральского государственного университета путей сообщения и ОАО «НИИЖТ» разработаны способы предохранения роликов подшипника от повреждений [11]. Дело в том, что большое значение для надежности и долговечности якорных роликовых подшипников имеет точность сборки [12] как подшипников, так и в целом ТЭД. Особое внимание при этом должно обращаться на соблюдение соосности двух подшипников [13]. Перекос щитов или смещение их с центральной оси приводит к перекосу подшипников, вследствие чего поверхности качения роликов и колец будут нагружены не равномерно [14]. При перекосах радиальный зазор в подшипниках также будет уменьшен. Все это в большой мере будет уменьшать долговечность и надежность подшипников [15].

В депо ТЭД разбирают и собирают на специальных стендах различных типов (ЭК-12-65, ЭК-20-61). Стенд состоит из рамы, задней бабки с гидравлическим прижимом и передней бабки с редуктором. Двигатель устанавливают краном горловинами моторно-осевых подшипников на опоры передней бабки, включают прижим и зажимают между носиками траверсы усилием 7500 Н. Посредством электродвигателя мощностью 1,7 кВт и редуктора, двигатель поворачивает на любой угол со скоростью 2,2 об/мин [16]. Во время сборки остов ТЭД (в нижней части остова подшипниковый щит уже собран) устанавливают на стенде в горизонтальном положении и закрепляют. Затем с помощью имеющихся сервоприводов его поворачивают вертикально [17].

На вале якоря напрессовано внутреннее подшипниковое кольцо, а наружное подшипниковое кольцо с сепаратором и роликами запрессовано в подшипниковый щит [18]. С помощью мостового крана якорь вертикально опускают в остов, но из-за того, что зазор между внутренним подшипниковым кольцом и обоймой вал якоря составляет всего 0,16–0,2 мм, малейшее отклонение якоря от вертикальной оси может повредить ролики подшипника. Для того чтобы этого не произошло, необходимо исключить отклонении опускаемого якоря от вертикали, а также сделать подачу крана более точной [19].

Поставленную задачу можно решить, проведя модернизацию стенда ЭК-20-6 и мостового крана (см. рисунок).

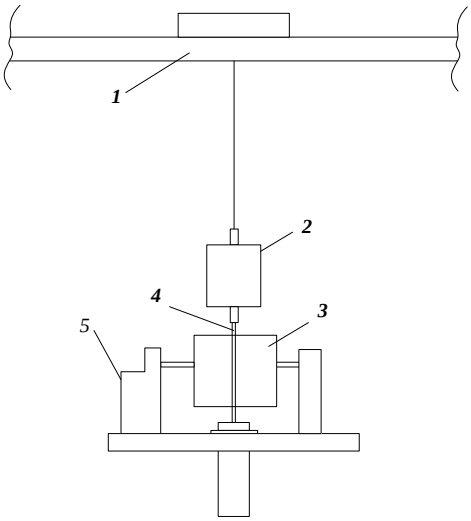


Рис. Схема модернизации стенда для сборки ТЭД:
***1* – кран; *2* – якорь; *3* – остов ТЭД; *4* – штанга; *5* – стенд**

В центре основания стенда устанавливается металлическая вертикальная штанга с продольно подачей. Автоматическое управление синхронной подачей крана и штанги производится оператором с пульта стенда. В процессе установки якоря в остов штанг выдвигается в крайнее верхнее положение и скрепляется с подвешенным якорем с помощью поворачивающейся головки со шпилькой, которая вкручивается в торе вала якоря в отверстие, предназначенное для рым-болта [20].

Таким образом, исключается горизонтальное перемещение подвешенного на кране якоря. Оператор стенда, управляя совмещенной подачей крана и штанги, опускает якорь в остов. После этот штангу отсоединяют от вала якоря. На торец вал якоря в отверстие, предназначенное для рым-болта, вкручивают капроновую пробку, которая обеспечивает зазор в 2 мм от обода вала якоря и препятствует повреждению роликов подшипника при монтаже якоря в остов. Процесс сборки ТЭД не изменяется, после сборки пробку снимают [21]. Предлагаемые способы полностью исключат монтажные задиры якорных подшипников.

Список литературы

1. *Буйносов А.П., Мишин Я.А.* Повышение долговечности опорных цилиндрических роликовых подшипников тягового привода пассажирского электровоза // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 6. С. 151-154.
2. *Буйносов А.П.* Основные причины интенсивного износа бандажей колесных пар подвижного состава и методы их устранения. – Екатеринбург : Изд-во УрГУПС, 2009. 224 с.
3. *Наговицын В.С., Боярских Г.С., Буйносов А.П.* Уральский характер (Свердловской дороге – 120 лет) // Локомотив. 1998. № 10. С. 8-10.
4. *Буйносов А.П., Мишин Я.А.* Повышение надежности тяговых редукторов электровозов // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 3. С. 85-89.
5. *Буйносов А.П., Пышный И.М., Тихонов В.А.* Ремонт локомотивов без прекращения их эксплуатации // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2012. Т. 60. № 1. С. 85-91.
6. *Буйносов А.П.* Наплавка гребней бандажей промышленных электровозов без выкатки колесных пар // Вестник транспорта Поволжья. 2012. № 4. С. 3-11.
7. *Буйносов А.П.* Еще раз об износе колеса и рельса // Путь и путевое хозяйство. 2010. № 9. С. 23-26.
8. *Буйносов А.П.* Влияние лубрикации на тяговые свойства электровоза ВЛ11 // Вестник РГУПС. 2011. № 1. С. 39-43.
9. *Буйносов А.П.* Автоматизированный контроль параметров колесных пар тягового подвижного состава // Железнодорожный транспорт. 2010. № 7. С. 49-50.
10. *Буйносов А.П., Тихонов В.А.* Универсальная модель оценки износа бандажей колесных пар локомотивов // Известия Транссиба. 2012. № 2. С. 16-23.
11. *Буйносов А.П., Цихалевский И.С., Бунзя А.В.* Влияние перекоса колесной пары на износ гребней бандажей // Локомотив. 1998. № 12. С. 26-27.
12. *Буйносов А.П.* Контроль бандажей колесных пар // Локомотив. 1991. № 9. С. 36.
13. *Буйносов А.П. Цихалевский И.С.* Перекос колесной пары относительно рамы тележки электровоза и износ гребней бандажей // Вестник Российской Академии транспорта. Уральское межрегиональное отделение. 1998. С. 133-135.
14. *Буйносов А.П.* Прибор для измерения параметров бандажей колесных пар тягового подвижного состава // Тяжелое машиностроение. 2011. № 3. С. 17-19.
15. *Буйносов А.П., Кислицын А.М.* Измерение и вычисление параметров колесной пары при движении локомотива // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 4. С. 54-58.
16. *Буйносов А.П., Стаценко К.А., Ледванский П.А.* Способы повышения надежности подшипников качения / депонированная рукопись № 1152-В2005 15.08.2005. ВИНИТИ. 31 с.
17. *Буйносов А.П.* Модель эксплуатационного износа сложных систем железнодорожного транспорта // Вестник транспорта Поволжья. 2010. № 4. С. 21-25.
18. *Буйносов А.П.* Оценка применяемых материалов бандажей колесных пар и рельсов // Тяжелое машиностроение. 2000. № 11. С. 16-20.
19. *Буйносов А.П., Стаценко К.А., Бган Е.В.* Повышение прочности посадки деталей с натягом сформированных колесных пар электровозов // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 5. С. 118-120.
20. *Буйносов А.П., Стаценко К.А.* Повышение ресурса колесных пар электровозов технологическими методами: Монография. – Саарбрюккен, Germany (Германия): Изд-во «LAP LAMBERT Academic Publishing», 2012. 215 с.
21. *Буйносов А.П.* Модель эксплуатационного износа сложных систем железнодорожного транспорта // Вестник транспорта Поволжья. 2010. № 4. С. 21-25.

05.22.07

А.П. Буйносов д.т.н., А.М. Кислицын

Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС),
кафедра «Электрическая тяга»,
Екатеринбург, byinosov@mail.ru, alex_teem@mail.ru.

СТРУКТУРНАЯ СХЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ОБМЕРА КОЛЕСНЫХ ПАР ЛОКОМОТИВОВ

В статье описана структурная схема автоматизировавнной системы для обмера колесных пар при движении локомотива на основе использования бесконтактных ультразвуковых датчиков.

Ключевые слова: *локомотив, колесная пара, датчики, обмер, система автоматизированная.*

Включение автоматизированных средств контроля состояния поверхности катания колесных пар электровозов в комплексные системы технической диагностики является не только решением проблемы обеспечения безопасности движения, но и позволяет оперативно вырабатывать рекомендации об индивидуальных объемах ремонта наиболее ответственных узлов каждого локомотива с учетом ее действительного технического состояния [1]. Указанные системы реализуют перспективный бесконтактный метод определения износа колесных пар, основанный на ультразвуковой локационной дальнометрии [2, 3].

Структурная схема автоматизированной системы обмера колесных пар локомотивов показана на рисунке. Она содержит: блок датчиков левого колеса (БДЛК); блок датчиков правого колеса (БДПК); измерительный блок; пульт оператора, включающий центральный блок, дисплей с клавиатурой, блок документирования результатов измерений (БДРИ); модем связи с внешней ПЭВМ [4].

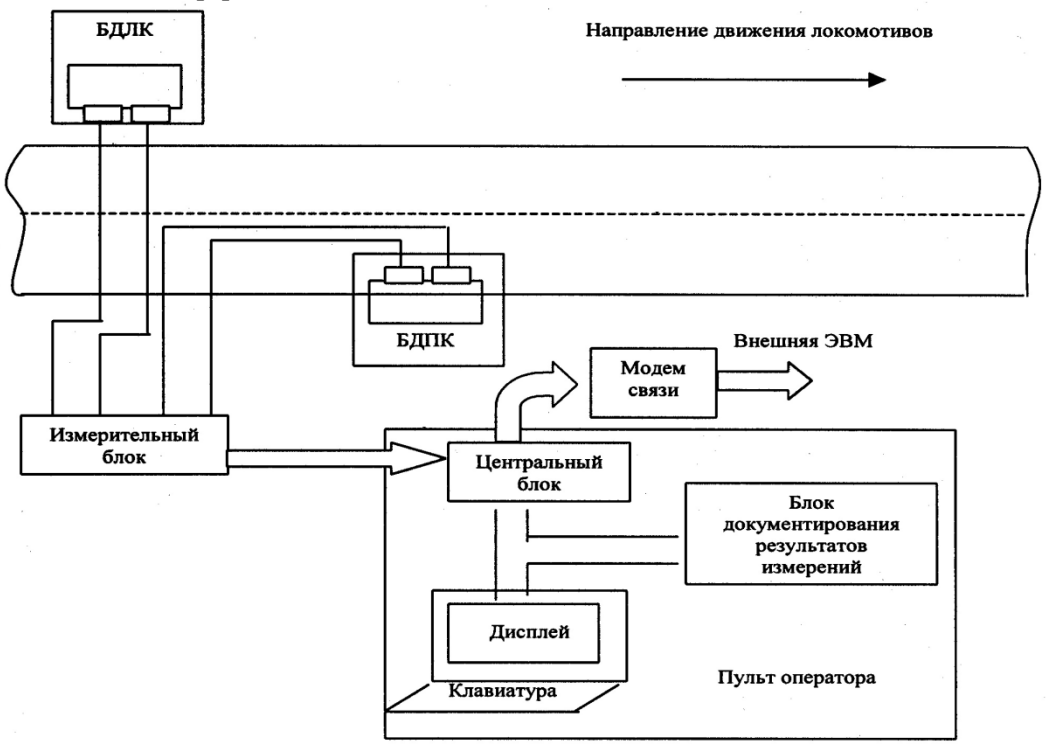


Рис. Структурная схема автоматической системы обмера колесных пар локомотивов

Напольные блоки датчиков левого и правого колес колесной пары локомотива располагаются в плоскости рельсов и имеют набор бесконтактных ультразвуковых датчиков

для измерения профиля сечения каждого бандажа [5]. Каждый напольный блок датчиков измерения профиля сечения колеса включает шесть передающих каналов и восемь приемных каналов [6]. Напольные блоки датчиков БДЛК, БДПК для измерения профиля сечения левого и правого колес по электрической схеме идентичны, но отличаются по геометрическому расположению, являясь зеркальным отображением друг друга [7]. Каждый напольный блок датчиков крепится к подошве рельса. Блоки датчиков рассчитаны на работу в диапазоне температур ±50 °С [8].

В соответствии со структурной схемой измерительный блок располагается в помещении на расстоянии до 50 м от напольных блоков датчиков и обеспечивает подачу зондирующих сигналов к датчикам, прием сигналов, их предварительную обработку и передачу данных в центральный блок пульта оператора, где осуществляется вычисление всех необходимых параметров, их запоминание, накопление, хранение и выдача полученной информации либо на дисплей, либо на блок документирования результатов измерений (БДРИ), либо через дополнительный модем связи на внешнюю ПЭВМ депо, дирекции по ремонту тягового подвижного состава и т. д. [9]. Измерительный блок и пульт оператора монтируются в единой стойке и рассчитаны на работу в диапазоне температур 0 – +50 °С [10].

При движении локомотива вдоль системы датчиков результат измерения отображает траекторию движения характерных точек колеса в пространстве и во времени [11]. Осуществляя совместную обработку этих траекторий с помощью вычислительного устройства, расположенного в центральном блоке пульта оператора, рассчитывают параметры бандажа колесных пар, подлежащие контролю [12, 13].

Технические приемы, применяемые при реализации автоматизированной системы, позволяют довести точность измерения расстояний во всем диапазоне внешних условий до 0,05 мм. Требуемая точность алгоритмов вычислений обеспечивается правильным выбором исходных выражений и мощностью вычислителя [14]. Точность оценки параметров колесных пар в основном определяется тремя факторами: погрешности взаимной привязки (установки) датчиков; погрешности измерения расстояния локационными датчиками; погрешности алгоритмов вычисления [15].

Механическая деформация системы датчиков устраняется путем использования достаточно жесткой конструкции блока датчиков, а влияние температурных воздействий на блок датчиков в процессе эксплуатации исключается за счет введения температурной коррекции в алгоритм вычислений. Инструментальная погрешность уменьшается в результате рационального выбора несущей частоты, типа зондирующего сигнала и структуры устройства его обработки [16].

Погрешности, вызванные непостоянством скорости распространения зондирующего сигнала в среде, компенсируются путем введения реперных каналов и корректируется мгновенное значение скорости распространения в момент прохождения колеса за счет функциональной избыточности алгоритмов измерений [17].

Значительное место при реализации структурной схемы занимает программное обеспечение вычислительных средств пульта оператора.

Программное обеспечение содержит программы создания базы данных на основании единичных замеров, анализ динамики изменения параметров от одного технического обслуживания к другому [18]. Они позволяют реализовать выявление временных тенденций износа бандажей, прогнозирование дальнейшего изменения измеряемого параметра, планирование текущего, среднего и капитального ремонтов, расчет времени разворота колесных пар из-за неодинаковости износа левого и правого бандажей, а также осуществляют стратегические прогнозы по колесным парам всего парка локомотивов [19].

Программное обеспечение предназначено для ведения базы данных, составления электронных паспортов локомотивов, анализа состояния колесных пар, прогнозирования их технического состояния, отслеживания динамики износа колесных пар, формирования технической документации, отчетов и графиков [20].

Система функционирует на IBM-совместимых компьютерах под управлением систем Microsoft Windows 7, Windows 8. Программное обеспечение системы отвечает международным требованиям RFC1697, RFC1123 и RFC1095 на сетевые клиент-серверы приложения и системы управления базами данных.

Список литературы

1. *Буйносов А.П.* Автоматизированный контроль параметров колесных пар тягового подвижного состава // Железнодорожный транспорт. 2010. № 7. С. 49-50.
2. *Буйносов А.П., Кислицын А.М.* Измерительная система для контроля диаметра бандажей колесных пар электровозов на основе разработанного электронного прибора // Научное обозрение. 2012. № 4. С. 179-187.
3. *Буйносов А.П., Кислицын А.М.* Измерительная система для контроля параметров бандажей колесных пар локомотивов // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 3. С. 73-78.
4. *Балдин В.Л., Буйносов А.П.* Автоматическая система мониторинга состояния бандажей колесных пар тягового подвижного состава // Вестник Всероссийского научно-исследовательского и проектно-конструкторского института электровозостроения. 2010. № 2. С. 113-125.
5. *Буйносов, А.П. Наговицын В.С.* Система бесконтактного измерения бандажей // Локомотив. 1995. № 12. С. 27-28.
6. *Буйносов А.П., Балдин В.Л.* Выбор технического решения для автоматизированного измерения параметров колесных пар при движении локомотивов // Научно-технический вестник Поволжья. 2011. № 5. С. 53-62.
7. *Наговицын В.С., Боярских Г.С., Буйносов А.П.* Уральский характер (Свердловской дороге – 120 лет) // Локомотив. 1998. № 10. С. 8-10.
8. *Горский А.В., Воробьев А.А., Буйносов А.П.* Система для контроля диаметров бандажей колесных пар // Передовой производственный опыт и научно-технические достижения в тяжелом машиностроении: Реф. сб./ ЦНИИТЭИтяжмаш. 1990. Серия 9. Вып. 9. С. 38-44.
9. *Буйносов А.П.* Разработка и аппаратная реализация прибора для измерения геометрических параметров бандажей колесных пар // Транспорт Урала. 2010. № 3 (26). С. 64-68.
10. *Буйносов А.П.* Методы повышения ресурса колесных пар тягового подвижного состава / Монография. М.: ГОУ «УМЦ по образованию на железнодорожном транспорте, 2010. 244 с.
11. *Буйносов А.П., Медведев Н.Ф.* Автоматизация измерения проката бандажей колесных пар электровозов // Железнодорожный транспорт. Сер. Локомотивы и локомотивное хозяйство. Ремонт локомотивов. ЭИ/ ЦНИИТЭИ МПС, 1991. Вып. 5. С. 1-9.
12. *Буйносов А.П., Наговицын В.С.* Измерение бандажей // Локомотив. 1995. № 12. С. 27-28.
13. *Буйносов А.П., Калмыков А.А., Елфимов В.И., Наговицын В.С.* Бесконтактное измерение бандажей // Железнодорожный транспорт. 1995. № 11. С. 34-36.
14. *Буйносов А.П., Кислицын А.М.* Устройство для контроля диаметров бандажей колесных пар тягового подвижного состава // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 6. С. 147-150.
15. *Буйносов А.П., Кислицын А.М.* Измерение и вычисление параметров колесной пары при движении локомотива // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 4. С. 54-58.
16. *Горский А.В., Буйносов А.П., Медведев Н.Ф., Наговицын В.С.* Правильно измеряйте износ бандажей // Локомотив. 1991. № 12. С. 36-37.
17. *Буйносов А.П.* Как контролировать разность диаметров бандажей колесных пар // Локомотив. 1991. № 3. С. 35.
18. *Головатый А.Т., Исаев И.П., Горский А.В., Буйносов А.П.* Система ремонта локомотивов на конкретных участках обращения // Железнодорожный транспорт. 1992. № 7. С. 40-44.
19. *Буйносов А.П.* Методы повышения ресурса бандажей колесных пар тягового подвижного состава: Автореф. дис. докт. техн. наук. Екатеринбург, 2011. 44 с.
20. *Наговицын В.С., Буйносов А.П., Балдин В.Л.* Измерение параметров колесных пар локомотивов. Автоматизированная система / Монография. Саарбрюккен, Germany (Германия): Изд-во «LAP LAMBERT Academic Publishing», 2011. 244 с.

05.22.07

А.П. Буйносов д.т.н., Д.Ю. Козаков

Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС),
кафедра «Электрическая тяга»,
Екатеринбург, byinosov@mail.ru, mozdokskaya18@mail.ru

АНАЛИЗ ПРИЧИН ПРЕЖДЕВРЕМЕННОГО ВЫХОДА ИЗ СТРОЯ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ НА ЭЛЕКТРОПОЕЗДАХ

В статье рассматриваются причины преждевременного выхода из строя аккумуляторных батарей на МВПС железных дорог Российской Федерации.

Ключевые слова: *электропоезд, аккумуляторная батарея, повреждения, анализ, схема зарядки.*

На сети железных дорог Российской Федерации эксплуатируются различные серии электропоездов или моторвагонного подвижного состава (МВПС) [1].

Из анализа причин выхода из строя аккумуляторных батарей (АБ) на МВПС видно, что основными неисправностями являются (см. рисунок):

– прогар элементов, вследствие потери герметичности по причине поверхностного электролиза из-за токов утечки (89 %);

– потеря емкости (9 %);

– прочие (2 %).

К основным причинам потери емкости АБ относятся [2]:

– накопление углекислых солей (карбонатов) в электролите сверх допустимой величины;

– работа АБ на электролите без добавки едкого лития;

– эксплуатация АБ при температуре электролита выше +45 °С;

– загрязнение электролита вредными примесями;

– короткие замыкания АБ и повышенный саморазряд.

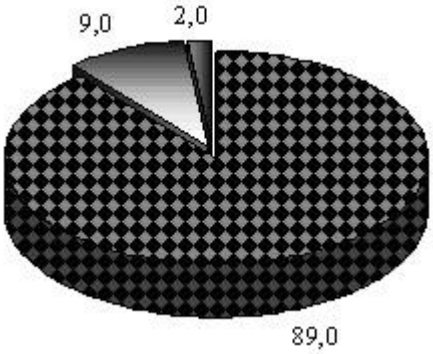


Рис. Диаграмма неисправностей аккумуляторных батарей, %

Значительное снижение емкости АБ может быть вызвано неправильным режимом ее эксплуатации:

– длительная работа вспомогательного оборудования без подзарядки АБ [3];

– недозарядка АБ вследствие неправильной настройки регулятора напряжения [4].

Накопление карбонатов в электролите происходит наиболее интенсивно в летнее время и при повреждениях или отсутствии пробок на аккумуляторах [5]. Накопившиеся в электролите, карбонаты снижают содержание щелочи, что приводит к снижению емкости аккумуляторов.

Высокая температура электролита при эксплуатации аккумуляторов приводит к потере емкости вследствие пассивации положительных электродов (растворение активной массы в

электролите). Активная масса, почти не растворимая в электролите при нормальных условиях эксплуатации, растворяется при высокой температуре и оседает на положительный электрод, вызывая потерю емкости. Высокая температура электролита вследствие неправильно выбранного режима заряда АБ на МВПС приводит к систематическому их перезаряду [6].

Загрязнение электролита вредными примесями может происходить как в результате случайного попадания в отдельные аккумуляторы металлических предметов, так и при заправке аккумуляторов не дистиллированной водой [7].

Короткие замыкания в АБ возникают чаще всего из-за большого количества шлама, образующегося при вымывании активной массы из электродов. Чрезмерное вымывание активной массы, особенно из отрицательного (кадмиевого) электрода, может быть вызвано систематическим перезарядом аккумуляторов [8]. Перезаряд приводит к обильному выделению газов при электролизе воды. Газы увлекают за собой частички активной массы и выносят их с поверхности электродов в электролит. При высокой температуре электролита (+50 – +60 °С) частички активной кадмиевой массы частично растворяются в электролите, а затем при охлаждении выделяются и оседают на электродах и сепараторах в виде тонкой металлической пленки. Металлизация сепараторов превращает их в проводники металлического тока и приводит к усиленному саморазряду и к короткому замыканию аккумуляторов [9].

Кроме коротких замыканий внутри аккумулятора, часто возникают короткие замыкания в АБ. Это чаще всего получается тогда, когда сопротивление изоляции АБ ниже нормы [10].

Наиболее часто встречающиеся механические повреждения АБ на МВПС – повреждения изоляционных резиновых чехлов и вентиляционных пробок. Во время движения электропоезда на аккумуляторный отсек передается вибрация от рамы вагона электропоезда, что приводит к расшатыванию клиньев, крепящих АБ. При эксплуатации таких АБ происходит перетирание резиновых чехлов аккумуляторов. Практика показывает, что резиновые чехлы имеют не достаточную механическую прочность, повреждение которых приводит к утечкам электролита из банки и заземлению аккумулятора, утечкам тока, коротким замыканиям, прогаранию корпусов аккумуляторов. Кроме того, резиновые чехлы при плотной установке аккумуляторов не допускают их необходимого охлаждения [11].

Из анализа эксплуатации МВПС установлено, что аккумуляторные батареи (АБ) выходят из строя раньше заложенного ресурса, предусмотренного заводом-изготовителем. Основными причинами преждевременного выхода из строя АБ являются:

1) большие уравнительные токи между АБ на МВПС серии ЭР2Т, ЭД2Т и ЭТ2Т, возникающие при параллельном соединении через поездные провода 16 и 30 [12];

2) отсутствие в электрических схемах зарядки АБ, устройств ограничивающих ток заряда с возможностью его автоматического контроля за счет применения обратной связи по току зарядки;

3) параллельно-последовательное включение аккумуляторов АБ в режиме заряда на (МВПС серии ЭР2) [13].

В результате вышеперечисленных причин происходит нагрев аккумуляторов выше 45 °С [14], бурное газовыделение с последующим вытеканием электролита на поверхность аккумуляторов. Растекшийся по поверхности электролит способствует появлению токов утечки аккумуляторами и аккумуляторными секциями. Токи утечки приводят к электрической коррозии корпусов аккумуляторов и соответственно их преждевременному выходу из строя. Нагрев щелочных аккумуляторов выше 45 °С приводит к высыпанию активной массы с пластин АБ и потере их емкости [15].

Параллельно-последовательное соединение элементов АБ приводит к перезаряду одних и недозаряду других элементов. Перезаряд аккумулятора вызывает его нагрев с последующим разрушением активной массы и загрязненим электролита.

Для того чтобы исключить влияние негативных вышеперечисленных факторов на эксплуатацию аккумуляторных батарей и тем самым увеличить их срок службы в Уральском

государственном университете путей сообщения заканчивается работа над разработкой оптимальной схемы стабилизации зарядки АБ на МВПС серии ЭР2Т, ЭД2Т и ЭТ2Т. При разработке схемы стабилизации и ограничения тока заряда АБ учитываются выполнение следующих требований:

– минимальное внесение изменений в основную электрическую схему зарядки АБ с учетом повышения условий безопасности движения МВПС;

– в случае нарушения работоспособности схемы стабилизации зарядки АБ предусмотреть возможность включения зарядки АБ в аварийном режиме;

– с целью исключения влияния электромагнитного излучения на работу радиоаппаратуры, установленной на МВПС, предусмотреть в схеме тиристорного регулятора установку экранов и фильтров радиопомех.

По предварительно выполненным расчетам экономической эффективности внедрения тиристорного стабилизатора срок окупаемости составляет 0,06 года или 22 дня со дня внедрения.

Список литературы

1. *Буйносов А.П., Наговицын В.С., Боярских Г.С.* Уральский характер (Свердловской дороге – 120 лет) // Локомотив. 1998. № 10. С. 8-10.

2. *Буйносов А.П.* Повысить надежность аккумуляторов на электропоездах // Железнодорожный транспорт. 1997. № 3. С. 25-27.

3. *Буйносов А.П., Козаков Д.Ю.* Разработка схемы стабилизации зарядки аккумуляторных батарей на электропоездах ЭР2Т, ЭД2Т и ЭТ2Т // Научное обозрение. 2012. № 4. С. 172-178.

4. *Буйносов А.П., Наговицын В.С.* Диагностика низковольтных цепей электровоза // Железнодорожный транспорт. 1996. № 9. С. 36-38.

5. *Буйносов А.П., Цихалевский И.С., Трофимов М.Н.* Новый измерительный прибор // Локомотив. 1998. № 6. С. 40-41.

6. *Буйносов А.П.* Модель эксплуатационного износа сложных систем железнодорожного транспорта // Вестник транспорта Поволжья. 2010. № 4(24). С. 21-25.

7. *Буйносов А.П., Козаков Д.Ю.* Разработка схемы стабилизации зарядки аккумуляторных батарей на электропоездах с реостатным торможением // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 4. С. 59-63.

8. *Кирель Л.А., Буйносов А.П., Наговицын В.С.* Создан прибор неразрушающего магнитного контроля // Локомотив. 2001. № 6. С. 20-25.

9. *Головатый А.Т., Исаев И.П., Горский А.В., Буйносов А.П.* Система ремонта локомотивов на конкретных участках обращения // Железнодорожный транспорт. 1992. № 7. С. 40-44.

10. *Наговицын В.С., Буйносов А.П., Трофимов М.Н., Цихалевский И.С.* Обработка бандажей колесных пар локомотивов составом НИОД // Вестник Академии транспорта Российской Федерации. Уральское межрегиональное отделение. Курган, 1998. С. 136-138.

11. *Буйносов А.П., Пышный И.М., Тихонов В.А.* Ремонт локомотивов без прекращения их эксплуатации // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2012. Т. 60. № 1. С. 85-91.

12. *Буйносов А.П., Трофимов М.Н., Цихалевский И.С.* Эффект лубрикации // Железнодорожный транспорт. 1998. № 5. С. 41–44.

13. *Буйносов А. П.* Новые гребнесмазыватели системы «Тракмастер» // Локомотив. 1999. № 12. С. 12–14.

14. *Буйносов А.П. Козаков Д.Ю.* Повышение ресурса бандажей колесных пар электровозов и электропоездов за счет применения наноматериала // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. 2012. № 2. С. 186-188.

15. *Буйносов А.П.* Разработка блока управления системы гребнесмазывания тепловозов // Транспорт: наука, техника, управление. 2012. № 12. С. 53-55.

05.23.00

[1]С.Н. Буликов д.э.н., [2]М.В. Лысанова, [3]В.Д. Сухов к.х.н.

[1]ФГБОУ ВПО «Ярославский государственный технический университет», кафедра «Управление предприятием», sbulikov@ya.ru

[2]ОАО «Ярнефтехимстрой», отдел Главного технолога, molokovam@mail.ru

[3]ФГБОУ ВПО «Ярославский государственный технический университет», кафедра «Управление предприятием», sukhovvd@ystu.ru

УНИФИЦИРОВАННОЕ ПОТОЧНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Представлен один из возможных вариантов унифицированного представления производственного процесса. Его предлагается использовать при подготовке Проектов организации строительства и Сметной документации. Цель использования: повышение автоматизации совместной разработки этих управленческих документов; повышение качества планирования подрядной деятельности.

Ключевые слова: *поточный метод строительства; типичность, унификация, стандартизация и упрощение строительных и ресурсных потоков; автоматизация организационной и технологической подготовки производства*.

Унифицировать (от слова «унификация» [1]) поточное представление производственного процесса предлагается с целью устранения неоправданного многообразия и слабой скоординированности текстовых и цифровых описаний одних и тех же производственных операций одинакового назначения и состава, а также приведение к возможному единообразию способов управления ими.

Необходимость унифицированного поточного представления производственного процесса обусловлена действием следующих факторов [2]:

1. Действие общих организационных положений строительной отрасли и назревшая необходимость организации строительного производства в виде матричных объектных подрядных строительных комплексов (ОПСК).
2. Однозначность понятий «организационно-технологическое проектирование подрядной деятельности» и «определение параметров строительных и ресурсных потоков в рамках Проектов организации строительства и Проектно-сметной документации (ПОС и ПСД).
3. Сложившийся высокий уровень автоматизации разработки ПСД вне ПОС и, как следствие, слабая календарная аргументации финансовых показателей, полученных таким методом.
4. Недостаточный уровень автоматизации разработки ПОС и, как следствие, слабая аргументированность календарного плана строительства и его функциональных финансовых параметров.
5. Низкое качество сегодняшнего информационного обеспечения организации поточного производства ввиду неадекватности (информационной узости, нецелостности и стохастичности) отраслевой эталонной сметно-нормативной базы.
6. Существенное противоречие между сложившимися общими организационными положениями строительной отрасли и сегодняшним информационным обеспечением расчета параметров строительных и ресурсных потоков.
7. Сложность разделения производственного процесса, многообразие и разобщенность источников информации в строительстве – рис.1 и рис.2.

Вид разделения	Признак (уровень) разделения	Интерпретация	
Технологическое разделение	1. По видам работ	Общестроительные работы Специальные строительные работы	Строительные работы Монтажные работы Ремонтно-строительные работы Механизированные работы Немеханизированные работы Пуско-наладочные работы
Организационное разделение	2. По степени агрегирования работ	Пусковые комплексы, стройки ↕ Объекты строительства ↕ Конструктивные части здания, сооружения ↕ Профили технологической специализации подрядных организаций (ПТС ПО) по наименованиям сборников ГЭСН ↕ Укрупненные виды работ (УВР) по разделам сборников ГЭСН ↕ СМР-чп по таблицам сборников ГЭСН ↕ Рабочий процесс (работа) по сборникам ЕНиР ↕ Рабочие операции по сборникам ЕНиР	
	3. По специализированным Производителям и Исполнителям работ	Специализированные подрядные организации ↕ Специализированные рабочие бригады ↕ Рабочие звенья определенной специальности и квалификации	
	4. По видам строительства	Жилищно-гражданское, промышленное, дорожное, гидротехническое, энергетическое, сельское и т.д. строительство	
	5. По территориям строительства	Принятое территориальное и экономическое районирование РФ.	

Рис. 1 – Сложность разделения производственного процесса

Производственный процесс			Документация (информация)	
Вид разделения	Признак (уровень) разделения	Интерпретация	Исходная	Конечная
Организационное разделение	2. По степени агрегирования работ	Пусковые комплексы, стройки ↕ Объекты строительства ↕ Конструктивные части здания, сооружения ↕ ПТС ПО (наименования сборников ГЭСН ↕ УВР (разделы сборников ГЭСН) ↕ СМР-чп (таблицы сборников ГЭСН) ↕ Рабочий процесс (работа) по сборникам ЕНиР ↕ Рабочие операции по ЕНиР	Сборники ГЭСН, ФЕР Сборники ЕНиР Сборники ЕНиР	ПСД ↑ ПОС ↑ ППР ↑ Техкарта (ТК)
	3. По специализированным Производителям и Исполнителям работ	Рабочие звенья определенной специальности и квалификации ↕ Специализированные рабочие бригады ↕ Специализированные подрядные организации	Титульный список подрядной организации (выполняемые работы)	↑ Профиль технологической специализации подрядной организации (ПТС ПО)

Рис. 2 – Многообразие и разобщенность источников информации

На рис. 1 показано, что производственный процесс в строительстве имеет технологическое и организационное разделение: по видам работ; по степени их агрегирования; по специализированным организациям-Производителям работ и специализированным рабочим бригадам (звеньям) – Исполнителям работ; по видам и территориям строительства. Из рисунка 2 следует, что информация, необходимая для разработки ПОС и ПСД весьма многообразна и, при этом, существенно разобщена.

Такое состояние информационной базы организационно-технологической подготовки строительного производства настоятельно требует широкой автоматизации формирования и обработки больших баз данных (БД), а также всемерной компьютеризации разработки отчетных документов в виде жестко увязанных меж собою ПОС и ПСД.

Проведенные исследования показывают, что вне унифицированного поточного представления производственного процесса требуемое повышение автоматизации совместной подготовки ПОС и ПСД вряд ли достижимо.

В этой связи, для практического применения в процессе организации строительного производства, предлагается теоретически обоснованная схема унифицированного поточного представления и компьютерного кодирования производственного процесса. Эта схема представлена на следующем рисунке 3.

Рис. 3 – Схема унифицированного представления и кодирования производственного процесса

Примечания к схеме (рис. 3):

1.Знаком (:) на рисунке обозначена информационная дифференциация, а знаком (+) - информационная интеграция производственного процесса.

2. Принятые аббревиатуры:

- ПТС ПО – профиль технологической специализации подрядной организации – всего 23;
- ССП-пл – специализированный строительный поток «поточная линия» - всего 60;
- УВР – укрупненный вид работ- всего 277;
- СМР-чп – строительно-монтажная работа - частный стройпоток (всего коло 15 тыс. СМР-чп в сборниках ГЭСН).

Анализ наименований СМР-чп в сборниках ГЭСН показывает, что выделения трех частных признаков у каждого СМР-чп вполне достаточно для отражения его уникальности и последующей идентификации.

В таблице 1 представлено кодирование СМР-чп по организационной информации содержащейся в сборниках ГЭСН.

Таблица 1 - Кодирование некоторых СМР-чп по ГЭСН 08-01-001

ПТС-ПО	ССП-пл	УВР	Признак 1	Признак 2	Признак 3
Предлагаемое компьютерное кодирование СМР-чп, расшифровка кода					
GO – общестроительные работы	**GO1**– общестроительные работы нулевого цикла	**GO103** Устройство бутовых, бутобетонных и каменных (кирпичных) конструкций подземной части здания	**01** - Стены подвала из бутового камня.	**01**- Без облицовки.	**01**- Высота до 4 м.
11-значный компьютерный код СМР-чп: **GO103010101**					
GO – общестроительные работы	**GO1**– общестроительные работы нулевого цикла	**GO103** Устройство бутовых, бутобетонных и каменных (кирпичных) конструкций подземной части здания	**02** – Подпорные стены из бутового камня. Слив из цементного раствора.	**01** - Без облицовки.	**01**- Высота до 4 м.
11-значный компьютерный код СМР-чп: **GO103020101**					
GO – общестроительные работы	**GO1**– общестроительные работы нулевого цикла	**GO103** Устройство бутовых, бутобетонных и каменных (кирпичных) конструкций подземной части здания	**03** - Устройство горизонтальной изоляции в фундаментах и стенах подвалов.	**02** - Два слоя рулонных материалов на мастике битумной кровельной горячей.	**02** - По цементной стяжке.
11-значный компьютерный код СМР-чп: **GO103030202**					
GO – общестроительные работы	**GO1**– общестроительные работы нулевого цикла	**GO103** Устройство бутовых, бутобетонных и каменных (кирпичных) конструкций подземной части здания	**03** - Устройство горизонтальной изоляции в фундаментах и стенах подвалов.	**03** - Цементным раствором.	**03** - С жидким стеклом.
11-значный компьютерный код СМР-чп: **GO103030303**					

Список литературы

1. Унификация URL: http://www.edudic.ru/bes/64771 Дата обращения: 05.04.2012.
2. *Буликов, С.Н.* Развитие механизмов кооперирования и кредитования в строительстве: Монография [Текст] / С.Н.Буликов, М.В.Лысанова, В.Д.Сухов. – Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2011. –224 с.

05.23.00

[1]С.Н. Буликов д.э.н., [2]М.В. Лысанова, [3]В.Д. Сухов к.х.н.

[1]ФГБОУ ВПО «Ярославский государственный технический университет», кафедра «Управление предприятием», sbulikov@ya.ru

[2]ОАО «Ярнефтехимстрой», отдел Главного технолога, molokovam@mail.ru

[3]ФГБОУ ВПО «Ярославский государственный технический университет», кафедра «Управление предприятием», sukhovvd@ystu.ru

ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ КАЛЕНДАРНЫХ ПАРАМЕТРОВ СТРОИТЕЛЬСТВА

В статье рассмотрены традиционные способы определения продолжительности строительства объектов на основе СНиП 1.04.03-85. Показаны основные причины их слабого соответствия условиям инвестирования капитал. Предлагается иной подход к решению проблемы.*

Ключевые слова: *трудоемкость и продолжительность строительства; трудоемкость и продолжительность частных строительных потоков; расчетные и задаваемые (назначаемые) параметры строительного производства.*

В инвестиционных условиях действия ссудного процента достоверность определения и задания реальной продолжительности строительства объектов является важнейшей задачей технологической, организационной и экономической подготовки строительного производства.

В настоящее время плановый показатель продолжительности строительства объектов ($T_{СТР.}$) количественно может выражаться:

1) величиной директивной ($T^{Д}_{СТР.}$), т.е. задаваемой Застройщиком (Заказчиком), исходя из собственных потребностей и финансовых возможностей;

2) величиной нормативной ($T^{Н}_{СТР.}$), т.е. задаваемой Генподрядчиком, исходя из рекомендуемых норм СНиП 1.04.03-85* в его двух частях [1];

3) величиной расчетной ($T^{Р}_{СТР.}$), т.е. задаваемой Генподрядчиком, исходя из собственных (наличных) подрядных мощностей.

Наши исследования показывают, что какого-либо принципиального различия в методиках определения $T^{Д}_{СТР.}$ и $T^{Н}_{СТР.}$ не наблюдается. В данной ситуации, в соответствии [1], результирующими показателями всегда являются:

а) заданная продолжительность строительства объекта, $T_{СТР.}$, с возможным выделением продолжительностей подготовительного периода, периодов строительства его подземной и надземной частей, отделочных работ, а также периода монтажа оборудования, включая индивидуальные испытания, комплексную апробацию и необходимые пусконаладочные работы [календарный месяц, квартал];

б) заданная норма (или норматив) задела по строительству объекта, что выражаемая следующими идентичными показателями:

- $K_П$ - задел по месяцам (кварталам), как текущий % (часть) освоения сметной стоимости, определяемый нарастающим итогом;
- $З_П$ - готовность объекта по освоенным инвестициям (капитальным вложениям) в проект;
- $В_П$ - промежуточный ввод в действие основных фондов.

Расчет этих идентичных показателей осуществляется по следующим формулам:

$$K_П = З_П = C^N_{CM} / C^П_{CM} \times 100\% \quad , \text{ где} \qquad (1)$$

C^N_{CM} - сметная стоимость объекта, которая должна быть освоена по плану от начала строительства на конец n-го текущего месяца (квартала);

$C^П_{CM}$ - полная сметная стоимость объекта.

$$B_П = C^{ОФ}_{CM} / C^П_{CM} \times 100\% \quad , \text{ где} \qquad (2)$$

$C^{ОФ}_{CM}$ - сметная стоимость строительной продукции, учитываемая как введенные основные фонды по состоянию на конец n-го текущего месяца (квартала) от начала строительства объекта.

Совместное использование формул (1) и (2) выявляет целевой ввод в действие основных фондов, в объемах текущего освоения финансовых вложений в проект.

Таблица 1 – Способы задания календарных сроков строительства объекта

Аргумент - мощность (или другая характеристика) объекта-аналога из перечня СНиП 1.04.03-85*	Функция – $T_{СТР.}$
Ситуация 1. Аргумент полностью соответствует характеристике титульного объекта строительства	$T_{СТР.} = T^Н_{СТР.}$; $K_П = З_П$ из СНиП 1.04.03-85*
Ситуация 2. Аргумент отличается от характеристики титульного объекта строительства, однако последняя находится в интервале, заданном СНиП 1.04.03-85*	$T_{СТР.}$, $K_П$, $З_П$ определяются линейной интерполяцией
Ситуация 3. Аргумент отличается от характеристики титульного объекта строительства, однако последняя находится за пределами максимальных или минимальных значений, заданных СНиП 1.04.03-85*	$T_{СТР.}$, $K_П$, $З_П$ определяются линейной экстраполяцией
Ситуация 4. Характеристика титульного объекта строительства не имеет аналогов в СНиП 1.04.03-85*	$T_{СТР.}$, $K_П$, $З_П$ определяются исходя из сметной стоимости объекта

Примечания к таблице 1. При наличии двух и более показателей, характеризующих объект, интерполяции и экстраполяции производятся исходя из основного показателя объекта по выпуску продукции (по оказанию услуг).

При экстраполяции мощность (или другой показатель) не должна быть больше удвоенной максимальной или меньше половины минимальной мощности, указанной в СНиП 1.04.03-85*.

Таблица 1 показывает, что продолжительность строительства объектов, не имеющих аналогов в СНиП 1.04.03-85*, определяются исходя из сметной стоимости этих объектов [2]. Такой подход основан на функциональной зависимости продолжительности строительства от стоимости СМР при условии, что в ее составе стоимость всех материалов и конструкций не превышает 52-53 %. Эта зависимость для основных отраслей народного хозяйства, *за исключением непроизводственного строительства,* выражается в виде:

$$T_{СТР.} = A_1\sqrt{C} + A_2 C \quad (3); \qquad T_{СТР.} = A_1\sqrt{C} + A_2 \quad (4); \qquad T_{СТР.} = A_1 C + A_2 \quad (5),$$

где С - объем строительно-монтажных работ, руб.; A_1 и A_2 параметры регрессионной кривой, определяемые методом наименьших квадратов.

Для каждой отрасли и подотрасли выбрана кривая с минимальным среднеквадратичным отклонением, что позволило объединить виды и характер строительства в отраслевом разрезе в соответствии с функциональной зависимостью продолжительности строительства от стоимости СМР.

Параметры A_1 и A_2 отражают специфические отраслевые особенности, конструктивные решения и структуру строительно-монтажных работ. Значения параметров A_1 и A_2 приведены в [2] на графиках, соответствующих каждой отрасли и подотрасли.

В отличие от $T^{Д}_{СТР.}$ и $T^{Н}_{СТР.}$, $T^{Р}_{СТР.}$ исчисляется исходя из следующих принципиальных положений [3]:

1. $T^{Р}_{СТР.}$ накапливается нарастающим итогом, посредством суммирования длительностей выполнения отдельных строительно-монтажных работ - частных стройпотоков $(T_{СМР-чп})$.

2. $T_{СМР-чп}$ исчисляется путем деления нормативной трудоемкости этого частного стройпотока - $Q^{Н}_{СМР-чп}$, [чел.-ч.], на предполагаемое число основных рабочих-исполнителей этой СМР - $N_{ОР}$, [чел.], как правило, из числа наличных в подрядной организации: чел.-ч. / чел. = час.

3. $Q^{Н}_{СМР-чп}$ исчисляется путем умножения ГЭСН-овской нормы времени этого частного стройпотока - $H^{1}_{ВР}$, [чел.-ч./ед.] на физобъем этой СМР - $V^{ФИЗ}_{СМР-чп}$ [ед.]: чел.-ч./ед. х ед. = чел.-ч.

Результат совместного рассмотрения принципиальных методических положений определения $T^{Д}_{СТР.}$, $T^{Н}_{СТР.}$ и $T^{Р}_{СТР.}$ можно представить в виде таблицы 2.

Таблица 2 – Основные проблемы определения календарных параметров строительства

Показатель	Проблемы определения и практического применения
$T^{Д}_{СТР.}$, $T^{Н}_{СТР.}$	1. Недостаточная проработка вопросов задания $T_{СМР-чп}$, исходя из заданных (назначенных) сроков строительства объектов. 2. Недостаточное качество календарного планирования в рамках разработки проектов организации строительства (ПОС) и сметной документации (ПСД) 2. Низкое соответствие фактических сроков строительства их плановым значениям
$T^{Р}_{СТР.}$	1. Недостаточная проработка вопросов задания $N_{ОР}$, [чел.], вне заданных (назначенных) сроков строительства объектов. 2. Недостаточное качество определения $T_{СМР-чп}$, вне однозначного задания $N_{ОР}$, [чел.], и объемов рабочего и непосредственно производительного времени. 3. Недостаточное качество календарного планирования в рамках разработки ПОС и ПСД. 4. Низкое соответствие фактических сроков строительства их плановым значениям.

Наши исследования показывают, что возможный подход к решению проблемы заключается в создании методики задания $T_{СМР-чп}$, исходя из заданных (назначенных) сроков строительства объектов. При этом $T_{СМР-чп}$ следует задавать на основе линейной интерполяции сметной стоимости частных стройпотоков с четким выделением среди них механизированных и немеханизированных работ, а также однозначным заданием объема непосредственно производительного времени.

Список литературы

1. Нормы продолжительности строительства и задела в строительстве предприятий, зданий и сооружений [Текст]: СНиП 1.04.03-85*: (взамен СН440-79): ввод в действие с 1.01.1991 - М.: Стройиздат, 1991 – В надзаг. Система нормативных документов в строительстве. Строительные нормы и правила Российской Федерации.
2. Пособие по определению продолжительности строительства предприятий, зданий и сооружений (к СНиП 1.04.03-85) - URL: http://files.stroyinf.ru/Data1/2/2676/ Дата обращения: 30.12.2012.
3. Свод правил организация строительства актуализированная редакция СНиП 12-01-2004 Организация строительства [Текст] : СП 48.13330.2011 : утв. Приказом Министерства регионального развития Российской Федерации (Минрегион России) от 27 декабря 2010 г. N 781: ввод в действие с 20 мая 2011 г.-М.: [б.и.] 2011.

05.14.04

А.Н. Бушуев, Е.А. Праслова

Орский гуманитарно-технологический институт,
механико-технологический факультет, кафедра теплоэнергетики и теплотехники,
г. Орск, nielsen1@mail.ru

ГАЗОПОРШНЕВЫЕ И ГАЗОТУРБИННЫЕ СИСТЕМЫ ПРИ ИНДИВИДУАЛЬНОМ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИИ ЭЛЕКТРОСТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Произведена сравнительная оценка газопоршневых и газотурбинных технологий при их применении в индивидуальной системе энергообеспечения электросталеплавильного производства. Построена диаграмма сравнения газовых технологий, учитывающая увеличение производительности технологического процесса выплавки стали за счет дополнительного подвода тепловой энергии.

Ключевые слова: *газотурбинная установка, газопоршневой двигатель, парогазовая установка, электросталеплавильное производство.*

Наиболее крупным потребителем электрической энергии в металлургической отрасли является электросталеплавильное производство. На металлургических предприятиях на сегодняшний день снижение энергозатрат может быть достигнуто главным образом только за счет реализации двух основных направлений энергосберегающей политики: развития собственных энергетических мощностей и максимально возможной утилизации вторичных энергоресурсов.

В условиях постоянного роста тарифов на сетевую электроэнергию особый интерес вызывает малая энергетика - генерация тепла и электроэнергии своими силами при помощи мини-ТЭЦ или иных источников. Многие факты указывают на актуальность дальнейшего внедрения собственных электрогенерирующих мощностей в промышленности страны, в том числе и в металлургии. Главный вопрос обстоит в выборе эффективной схемы теплового электрогенерирующего источника, обеспечивающего энергетические потребности электросталеплавильного производства.

Системы на базе газопоршневых двигателей (ГПД) выступают наиболее серьезными конкурентами для газотурбинных установок (ГТУ). Однако есть несколько определяющих факторов в выборе энергоисточника непосредственно из двух представителей газовых двигателей [1,2]:

- стоимость капитального ремонта у ГПД значительно выше;
- в соотношении температуры и мощности ГТУ выигрывает, поскольку его мощность повышается при понижении температуры;
- низкое соотношение тепловой и электрической энергии ГПД;
- отрицательные экологические показатели ГПД по сравнению с ГТУ;
- низкая единичная мощность ГПД по сравнению с ГТУ;
- высокая занимая площадь ГПД ($м^2$/кВт).

Последний фактор является определяющим, не допускающим постройку индивидуальной промышленной электростанции высокой мощности.

Помимо приведенных доводов, наглядное сравнение основных вариантов тепловой электрогенерации на базе паротурбинных, газотурбинных и газопоршневых технологиий может быть сведено в общую диаграмму, изображенную на рисунке 1.

Теоретически требуемое количество энергии на нагрев, расплавление лома и перегрев расплава до 1600 ^{0}С, без учета тепловых потерь в печи, составляет около 400 кВт·ч или

40,79 м^3 природного газа - участок “ДСП” на диаграмме. Данный участок показывает теоретически необходимый подвод энергии в дуговую печь.

Если электроснабжение печи осуществляется от промышленной ТЭЦ, расположенной на промплощадке предприятия, то, принимая электрические потери во внутренних электросетях металлургического предприятия (учитывая печной трансформатор и короткую сеть) равными 10%, на ТЭЦ необходимо обеспечить выработку 440 кВт·ч электроэнергии (столбец А на участке “ТЭЦ”). Принимая среднегодовой электрический кпд ТЭЦ равным 45%, на выработку данной энергии потребуется сжигание природного газа в эквиваленте 978 кВт·ч или 99,72 м^3 (столбец В на участке “ТЭЦ”). При обеспечении ДСП от дальнего источника, от ГРЭС, будет израсходовано 1265 кВт·ч или 129 м^3 природного газа на 1т выплавляемой стали (столбец С на участке “ГРЭС”).

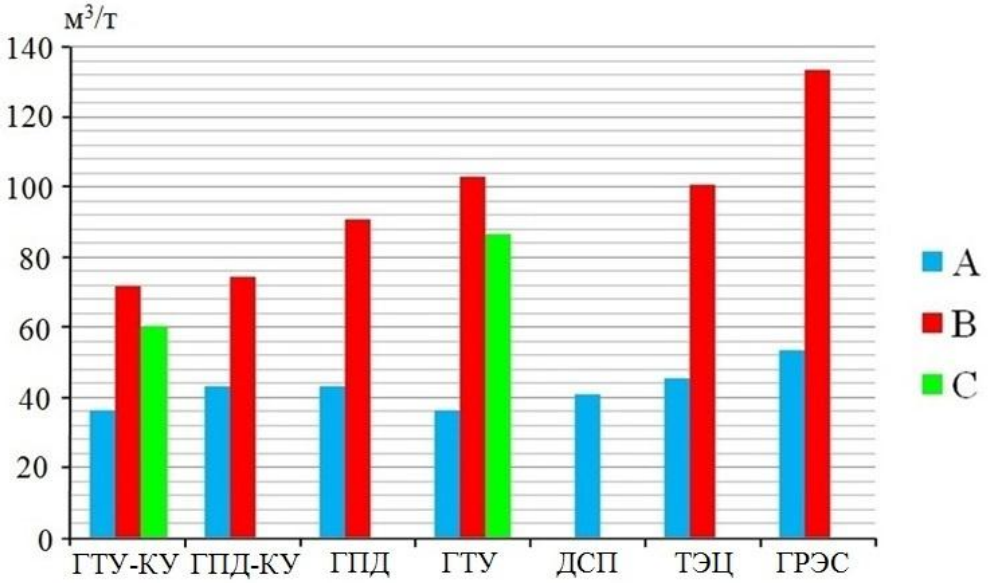


Рис. 1 - Диаграмма сравнения различных вариантов тепловых электрогенерирующих источников: А – теоретически требуемая выработка электроэнергии на 1т стали в топливном эквиваленте, м^3/т; В – фактическая затрата топлива (природного газа) с учетом кпд электрогенерирующего источника, м^3/т; С – уменьшенная затрата топлива, учитывающая повышение производительности источника.

При максимально близком расположении ГТУ к электросталеплавильному цеху предприятия возможно осуществление отбора требуемой доли уходящих газов на предварительный подогрев лома перед плавкой. В таком случае картина процесса энергообеспечения значительно изменяется – за счет подогрева шихты до 440 ^{0}С уходящими газами турбины требуемый подвод электроэнергии до завершения технологического процесса сокращается примерно до 336 кВт·ч. С учетом потерь в линии между ГТУ и ДСП потребуется выработка около 353,7 кВт·ч (столбец А на участке “ГТУ”), и при среднем электрическом кпд ГТУ 35%, будет израсходовано около 990 кВт·ч или 102,8 м^3 природного газа (столбец В на участке “ГТУ”). Однако, фактически, подогрев металлической шихты сокращает продолжительность периода плавки. Если при отсутствии предварительного подогрева металлической шихты продолжительность плавки принять за единицу, т.е. t=1, то предварительный подогрев до данной температуры сокращает продолжительность плавки до t=0,84, т.е. продолжительность сокращается на 16%, или повышается производительность процесса на 19% при прежней продолжительности t=1.

Данный положительный эффект показан на диаграмме посредством столбца С на участке “ГТУ”. Столбец С показывает недействительное сокращение расхода природного газа на 19%, поскольку фактически расход топлива на 1т остается прежним (столбец В), но

повышение производительности при прежних временных параметрах может быть отмечено как положительных эффект данной системы энергообеспечения.

Для сравнения показатели эффективности системы на базе ГПД изображены на участке “ГПД” диаграммы. Столбец А – теоретически необходимая выработка на станции электроэнергии с учетом электрических потерь 5%, столбец В – фактический расход природного газа с учетом электрического кпд 47,3%.

Дальнейшее повышение эффективности системы на базе ГПД возможно переходом к когенерационной системе с утилизацией теплоты выхлопных газов ГПД в паротурбинной части системы. Теплосодержание выхлопных газов низкое, поэтому общий кпд паротурбинной части может быть принят в интервале 20-25%. Учитывая то, что соотношение тепловой и электрической энергии двигателей составляет 1/1, можно составить упрощенное уравнение для нахождения требуемого расхода топлива:

$$0{,}473x + 0{,}473x \cdot 0{,}22 = 421{,}05$$

$$x = 729{,}65 кВт \cdot ч \text{ или } x = 74{,}41 куб.м$$

здесь x – расход топлива на 1т стали, 0,22 – общий кпд паротурбинной части системы (столбец В на участке “ГПД-КУ” диаграммы).

Наибольший интерес представляет измененная схема ПГУ, допускающая отбор доли уходящих газов за газовой турбиной на предварительный подогрев металлической шихты и утилизацию остальной доли в паровом котле-утилизаторе. Для осуществления подогрева металлической шихты до 450 ^{0}С требуется отвод теплоты в размере 63,5 кВт·ч (в расчете принимаем отбор в 1,5 раза выше). Для примерного расчета требуемого расхода топлива можно воспользоваться уравнением:

$$0{,}35x + (0{,}65x - 95{,}25) \cdot 0{,}3 = 353{,}7$$

$$x = 701{,}45 кВт \cdot ч \text{ или } x = 71{,}54 куб.м$$

При данной системе энергообеспечения подогрев металлического лома до 450 ^{0}С также повышает производительность процесса на 19%. Фактический расход топлива показан на диаграмме на участке “ГТУ-КУ” – столбец В. Нефактическое сокращение расхода, отображающее увеличение производительности процесса – столбец С на участке “ГТУ-КУ”.

Диаграмма, приведенная на рисунке 1, отчетливо показывает снижение удельных энергозатрат на 1т стали при переходе к газотурбинным системам по сравнению с паротурбинными. Когенерационные системы на базе газопоршневых двигателей очень близки по показателю эффективности, однако парогазовая система обеспечивает примерно на 4% меньший расход природного газа и увеличение производительности на 19%. Также следует отметить, что при расчете системы на базе ГПД в расчет был принят кпд самого мощного и эффективного двигателя – Wartsila 18V50SG мощностью 19 МВт, кпд более распространенных двигателей составляет примерно 41-43% [1]. Тогда показатель расхода топлива когенерационной системы возрастет с 74,4 м^3/т до 81,85 м^3/т, что делает парогазовую систему в выигрыше уже не на 4%, а на 13%.

Приведенных фактов в пользу газотурбинных систем, подтверждаемых и расчетами, и статистикой внедряемых электрогенерирующих систем в энергетику России вполне достаточно для утверждения, что максимально эффективная система энергообеспечения непосредственно электросталеплавильного производства может основываться только на газотурбинных установках с попутной утилизацией уходящих газов турбины на предварительный подогрев металлического лома и дополнительную генерацию электроэнергии в паротурбинной части системы. Подтверждением преимущества систем на базе газотурбинных установок может выступать статистика постепенного перехода тепловых генерирующих мощностей как в России, так и за рубежом, на ГТУ и ПГУ. За 2,5 года из 9,2 ГВт мощности нового введенного электрогенерирующего оборудования в России почти 83,82% приходится на газотурбинные технологии и менее 0,17% - на газопоршневые агрегаты [3].

Список литературы

1. *Гольдинер А.Я., Цыркин М.И., Бондаренко В.В.* Газопоршневые электроагрегаты. – СПб.: Галея Принт, 2006. – 240с.
2. *Цанев С.В., Буров В.Д., Ремезов А.Н.* Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций: учебное пособие для вузов. – М.: Издательство МЭИ, 2009. – 584с.
3. Аналитический бюллетень. Электроэнергетика: тенденции и прогнозы. Выпуск №5, итоги 2011 года. М.: Риановости, 2012 - 43с.

05.13.18

[1]Р.А. Валиев, [1]Т.Н. Каримов, [2]Р.К. Сибгатуллин, [3]А.Х. Хайруллин

[1]Камская государственная инженерно-экономическая академия,
факультет автоматизации и прогрессивных технологий,
кафедра прикладная информатика и управление, Набережные Челны
[2]ООО «Автодорстрой», Набережные Челны
[3]Камская государственная инженерно-экономическая академия,
факультет автоматизации и прогрессивных технологий,
кафедра автоматизация и информационные технологии, Набережные Челны

МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ЗАДАЧА ПЛАНИРОВАНИЯ ДОСТАВКИ ТОПЛИВА ТРАНСПОРТНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ КОМПАНИЕЙ СЕТЯМ АЗС

В работе представлены методы и алгоритмы решения многокритериальной задачи планирования доставки топлива, основанные на многоуровневой декомпозиции и выделении на каждом уровне некоторых обособленных подмножеств.

Ключевые слова: *математические методы, комплекс программ, маршрутизация транспорта.*

Как показывает практика, проектирование и внедрение информационной транспортной логистической системы на топливно-энергетических компаниях по обеспечению топливом сетей автозаправочных станций (АЗС) относится к одной из сложнейших задач транспортной логистики.

Сложность задачи заключается в учете множества ограничений, требований и условий заказчика которые предопределяют не только трудность создания и выбора эффективных алгоритмов нахождения решений, но и неприемлемо большое время и перенастройки программного комплекса на текущую реальную ситуацию[1].

В данной статье рассматривается построение методов и алгоритмов решения задач маршрутизации транспорта для таких топливно-энергетических компаний с достаточно большим количеством условий и ограничений на основе многоуровневой декомпозиции и выделения на каждом уровне некоторых обособленных подмножеств подзадач[2]. Как показал пооперационный анализ, всевозможные условия и ограничения могут быть сгруппированы с точки зрения идентичности их влияния на создание или выбор тех или иных математических моделей и алгоритмов в следующие основные группы.

1. Ограничения и условия, связанные с режимом работы водителей:

Предварительно введем обозначения:

m – количество водителей, которые могут быть привлечены сегодня к развозу бензина по АЗС; T – разрешенная длительность рабочего времени водителей;

$B=\{b_1,b_2,...,b_m\}$ - множество водителей;

$\overline{t_{\text{н}}}(b_i)$, $\overline{t_{\text{к}}}(b_i)$ - задаваемое диспетчером начало и конец смены работы водителя $b_i(i=\overline{1,m})$;

$t_{\text{н}}(b_i)$, $t_{\text{к}}(b_i)$ - фактическое начало и конец смены работы водителя $b_i(i=\overline{1,m})$;

$D=\{d_1,d_2,...,d_k\}$ - множество мест дислокации, где водители АТС имеют право переночевать, причем $\Pi \subseteq D$. При этом, автотранспортные предприятия и места дислокации являются начальной точкой маршрутов.

$\overline{D_j}=\{d_1^j,d_2^j,...,d_{k_j}^j\}\subseteq D$ - подмножество мест дислокации, где j-ый $(j=\overline{1,m})$ водитель имеет право и/или хочет переночевать;

$H_j\,(j=\overline{1,m})$ - количество дней, согласованное с *j*-ым водителем, которое он может переночевать в других местах дислокации. При этом, для отдельных водителей значения $\overline{D_j}$ и H_j могут быть равны нулю.

Тогда заданные ограничения и условия будут выражены в моделях и алгоритмах программного комплекса в виде:

$$d_i^j \in \overline{D_j} \tag{1}$$

т.е. водитель имеет право ночевать только в заранее заданных согласованных местах дислокации; здесь d_i^j - *i*-ое место дислокации, выбранное системой для ночлега (при необходимости) *j*-ому водителю;

$$[t_н(b_i), t_к(b_i)] \subseteq [\overline{t_н}(b_i), \overline{t_к}(b_i)], \forall i \in m \tag{2}$$

т.е. фактическое время работы водителя b_i должно быть в пределах заданного диспетчером интервала времени;

$$н^j \le H_j, \tag{3}$$

т.е. количество дней, на которое может быть командирован водитель не должно превышать заданного – H_j.

2. Ограничения и условия, связанные с эксплуатацией автотранспортных средств:

n – количество АТС, которые доступны для расчета программным комплексом;

$Б = \{б_1, б_2, ..., б_n\}$ - множество АТС;

$V = \{v_1, v_2, ..., v_\gamma\}$ - множество объемов отсеков АТС;

$\overline{V_j} = \{v_1^j, v_2^j, ..., v_{\gamma_j}^j\} \subseteq V$ - подмножество объемов отсеков *j*-ого $(j=\overline{1,n})$ АТС;

$v_{Ti}^j (i=\overline{1,\gamma_j})$ - объем имеющегося топлива в *i*-ом отсеке *j*-ого $(j=\overline{1,n})$ АТС;

Анализ реальных ситуаций по эксплуатации АТС топливно-энергетической компаний определяют необходимость учета системой следующих условий и ограничений:

$$v_{Ti}^j (i=\overline{1,\gamma_j}) = 1 \vee 0 \tag{4}$$

т.е. объем топлива в *i*-ом отсеке j-ого АТС должно быть либо полным, либо пустым перед выездом из очередной АЗС;

$$\forall_i = 1,2,...,\gamma_j, v_i^j = 0 \tag{5}$$

т.е. все отсеки *j*-ого АТС должны быть пустыми при его заезде на места дислокации;

$$\forall_i = \overline{1,\rho_j}, v_i = 1 \vee 0 \,|\, l \ge L_{\max} \tag{6}$$

т.е. запрещается АТС проезд более $L_{\max}$ км, если загружены ($v_i = 1$) не все отсеки или не все отсеки пустые ($v_i = 0$).

3. Ограничения и условия, связанные с обслуживанием автозаправочных станций.

Введем обозначения:

α – общее количество АЗС, обслуживаемых компанией;

$A = \{a_1, a_2, ..., a_\alpha\}$ - множество АЗС, обслуживаемых компанией;

$t_н(a_j), t_к(a_j)$ - временное окно работы АЗС $a_j\,(j=\overline{1,\alpha})$;

$W = \{w_1, w_2, ..., w_\beta\}$ - множество объемов емкостей на АЗС компании;

$\overline{C^j} = \{c_1^j, c_2^j, ..., c_{\gamma_j}^j\}$ - подмножество множества сортов топлива, принимаемых и отпускаемых *j*-ой $(j=\overline{1,\alpha})$ АЗС, здесь $\overline{C^j} \subseteq C$;

β – количество нефтебаз, с которых компания может брать топливо для обеспечения своих АЗС;

$X = \{x_1, x_2, ..., x_\beta\}$ - множество НФХ, обеспечивающих топливом АЗС компании;

$C_в = \{c_1^b, c_2^b, ..., c_{t_b}^b\}$ - множество сортов топлива, имеющихся в нефтебазах $b_i (i = \overline{1, \beta})$ на сегодня;

$\overline{C_{b_j}} = \{c_1^j, c_2^j, ..., c_r^j\}$ - подмножество множества сортов топлива, имеющихся на сегодня в НФХ подмножества $\overline{B_j}$;

$V^j = \{v_1^j, v_2^j, ..., v_{t_в}^j\}$ - множество объемов топлива i-ого $(i = \overline{1, t_в})$ сорта на j-ой НФХ, которые должны быть выбраны до заданного срока;

$T_b = \{\tau_1^b, \tau_2^b, ..., \tau_\beta^b\}$ - множество временных окон работы НФХ;

$\tau_p = (b_i / a_j)$ - время, затрачиваемое бензовозом $b_i (i = \overline{1, m})$ на регламентные работы на АЗС $a_j (j = \overline{1, \alpha})$ (контроль качества топлива и т.д.).

Теперь возможные ограничения и условия, связанные непосредственно с процессом обслуживания самих АЗС могут быть записаны в общей математической формулировке транспортной задачи [3] в виде:

$$\forall_j = \overline{1, \alpha}, \overline{C_j} \subseteq \overline{C_{b_j}} \tag{8}$$

т.е. каждая АЗС имеет право получать необходимые сорта бензина только с заданного подмножества НФХ;

$$[t(b_i / a_j)] \subseteq [t_н(a_j), t_к(a_j)], \forall_j \in \alpha, \tag{9}$$

фактическое время приезда водителя $b_i (i \in m)$ к АЗС $a_j (j \in \alpha)$ должно быть в пределах временного окна работы АЗС;

На основе такого формализованного описания всех параметров и характеристик, а также множества выдвигаемых транспортно-производственными процессами ограничений, условий и требований можно приступить к постановке и решению общей задачи оптимального планирования доставки топлива на АЗС.

Список литературы

1. *Драпалюк М.В., Афоничев Д.Н.* Алгоритм управления поставками горюче-смазочных материалов // Политематический сетевой электронный научный журнал кубанского государственного аграрного университета – 2011, №74 стр. 338-347

2. *Каримов, Т.Н., Тимергалиев С.Н., Хайруллин А.Х.* Построение адаптивно пассивных алгоритмов для решения задач информационной логистической транспортной системы. // Сборник трудов Междунар. научно-технической и образовательной конференции – 2010, стр. 197-20

3. *Вентцель Е.С.* Исследование операций: задачи, принципы, методология // М.: Наука, 1988. 2-е изд., стр. 128-135.

05.22.19

С.С. Валькова, А.В. Степанец д.т.н., В.Е. Верютина к.т.н.

Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского,
кафедра управления морским транспортом,
Владивосток, stepanets_av@mail.ru

ФОРМИРОВАНИЕ КОМПЛЕКСА ЗАДАЧ ПО УПРАВЛЕНИЮ ОБРАБОТКОЙ Ж.-Д. ВАГОНОВ В МОРСКОМ ПОРТУ

Представлена разработанная авторами структура задач управления обработкой железнодорожных вагонов в морском порту в привязке к функциям и периодам процесса управления с учетом их значимости в процессе выработки управленческого решения

Ключевые слова: *морской порт, вагоны, обработка вагонов, комплекс задач, структура, классификация.*

Железнодорожный транспорт является в отечественных морских портах основным смежным с морским видом транспорта, с помощью которого грузы поступают в порт или вывозятся из порта. От успешного взаимодействия портов и судоходных компаний с железнодорожным транспортом зависит не только эффективность процесса по перевозке грузов морем, а также эффективность всего транспортного процесса, включая скорость по доставке грузов в пункты назначения. Соответственно эффективность взаимодействия портов с железнодорожным транспортом будет определяться эффективностью решения задач управления взаимодействием порта и припортовой ж.-д. станции по обработке вагонов, поступающих в порт.

Известно, что любая наука начинается с классификации объектов, явлений, факторов, действий, мероприятий, последствий и т. п. Поэтому исследование процесса взаимодействия порта с железной дорогой с целью повышения его эффективности, по нашему мнению, следует начать с классификации задач, подлежащих решению в рамках указанного взаимодействия. Для этого рассмотрим следующие предпосылки.

Мы знаем [1], что процесс взаимодействия порта и ж.-д. станции является неотъемлемой частью общего процесса прохождения грузов через порт. Тогда, если производственный процесс порта рассматривать как сложную систему [2], то процесс взаимодействия порта и ж.-д. станции является одной из подсистем общего производственного процесса порта. Т.к. любую подсистему можно рассматривать в качестве самостоятельной системы, сохраняя ее связи с другими подсистемами, то подсистему управления обработкой ж.-д. вагонов в морском порту можно рассматривать как самостоятельную систему, учитывая ее связь с другими подсистемами производственного процесса порта.

Производственный процесс должен обеспечить достижение цели организации через понятие «дерева целей». Т. е. для каждого уровня управления и места участия исполнителей в производственном процессе выбирается свой показатель функционирования или развития производственного процесса. Для обеспечения соответствие фактического состояния производственного процесса и тенденций его развития конечному показателю необходимо отслеживать количественные значения целой группы параметров, которые являются составляющими «дерева целей». К таким параметрам можно отнести: количество переработанного груза, обработанных вагонов, технологических линий, используемых для обработки судна или подачи вагонов, интенсивность обработки судов и вагонов, производительность одной технологической линии и одного рабочего и т. д. При этом надо иметь в виду, что одни показатели нужно контролировать по соответствию нормативному значению, а другие – по достигнутому значению на определенный момент времени. Следовательно, необходимо учитывать фактор времени.

Фактически полную характеристику процесса управления работой порта можно составить, рассматривая его с трех аспектов [ ]: разделение процесса управления по функциям, по периодам и по отношению к объекту управления. Применительно к управлению процессом обработки вагонов в морском порту третий аспект нецелесообразно рассматривать, т. к. объект управления уже выделен в подходе к решению проблемы. Соответственно процесс управления характеризуется следующими параметрами.

Совокупность функций процесса управления: планирование, организация (производства), учет, контроль, анализ, регулирование, мотивация. Функции учет, контроль и анализ часто осуществляются одновременно, и могут быть объединены в одну группу.

Период, в котором осуществляется управление (принятый для морского порта): перспективный, текущий, календарный и оперативный [5]. Структура периодов обеспечивает преемственность управления и нарастающую детализацию задач управления. В каждом периоде управления *реализуются все функции процесса управления*.

Для того чтобы подойти к решению поставленной задачи, необходимо подробней рассмотреть как происходит обработка вагонов в порту. В общем случае порт располагает ж.-д. грузовыми фронтами, на которые вагоны партией подаются для обработки. Партия вагонов, поданная на ж.-д. грузовой фронт называется *подачей вагонов* на данный ж.-д. грузовой фронт. Общее количество вагонов поданных одновременно на все ж.-д. грузовые фронты также называется подачей. Таким образом, *общая подача порта состоит из совокупности подач на все ж.-д. грузовые фронты*. В течение суток ж.-д. станция осуществляет несколько общих подач вагонов в порт. Количество общих подач вагонов в порт в течение суток, количество ж.-д. грузовых фронтов, общее количество вагонов, подлежащих обработке, количество вагонов, подаваемых на каждый ж.-д. грузовой фронт и время обработки одной подачи вагонов оговариваются в соглашении между портом и ж.-д. станцией («Узловое соглашение»). При этом ж.-д. грузовые фронты могут быть специализированы по родам грузов.

Продолжительность обработки вагонов на каждом ж.-д. фронте определяется соотношением количества вагонов, поданных под обработку, продолжительностью обработки одного вагона, нормативным временем обработки подачи вагонов и количеством выделенных для обработки вагонов технологических линий.

При распределении вагонов под обработку между ж.-д. фронтами нужно учитывать, куда груз может быть выгружен. Возможными вариантами работ являются «вагон – судно», «вагон – склад». Выгрузка груза по варианту «вагон – судно» (прямой вариант) возможна только в том случае, если груз, указанный в грузовом плане судна, и груз в вагонах по своим характеристикам полностью совпадают. Выгрузка груза по варианту «вагон – склад» (складской вариант) возможна только в том случае, если на складе, тяготеющем к конкретному ж.-д. грузовому фронту, имеется свободная складская площадь. Это обычный (традиционный) вариант обработки вагонов в порту.

Особенностью организации обработки вагонов в морском порту является тесная взаимосвязь процесса обработки вагонов с процессами управления обработкой судов и управления использованием докеров-механизаторов (Д-М) порта. Такие процессы можно назвать сопутствующими, т. к. их практически невозможно отделить от основных. По своей сути они выполняют роль промежуточных этапов. Процессы обработки вагонов и обработки судов связаны в части обработки судов по прямому варианту, т. к. все ресурсы, используемые для обработки судов и вагонов, являются общими, и оба процесса происходят одновременно.

Ряд задач по управлению использованием ресурса Д-М морского порта непосредственно переплетается с задачами управления обработкой вагонов. Так, наличие ресурса Д-М является одним из основных ограничений по количеству вагонов, которые могут быть поданы под обработку на ж.-д. грузовые фронты.

Основные задачи управления обработкой вагонов в морском порту также можно разделить на две группы: непосредственно связанные с процессом обработки вагонов и предшествующие процессу обработки вагонов.

Для формирования комплекса задач управления обработкой ж.-д. вагонов авторы приняли за основу описание процедур, приведенных в [*]. Выделенные процедуры и задачи управления были дополнены авторами с учетом изученного опыта работы портов по обработке вагонов. На основе проведенного исследования классификацию задач управления можно представить в виде структуры задач процесса управления, приведенной в таблице.

Таблица – Структура процедур (задач) по управлению обработкой вагонов в морском порту

Функции / Период	Планирование	Организация	Учет, контроль, анализ	Регулирование	Мотивация
1	2	3	4	5	6
Перспективный	***Определение потребности в ж.д. грузовых фронтах*** и в Д-М для обработки вагонов	***Разработка мероприятий по обеспечению потребности в ж.д. грузовых фронтах, их пропускной способности*** и в Д-М для выполнения вагонных работ	***Анализ использования ж.д. грузовых фронтов в предыдущем периоде***	***Корректировка мероприятий по обеспечению потребности в ж.д. грузовых фронтах*** и в Д-М для выполнения вагонных работ	***Разработка и организация использования системы обеспечения выполнения нормативов обработки вагонов***
Текущий	**Формирование параметров (нормативов) обработки вагонов в порту**, определение потребности в Д-М для выполнения вагонных работ		***Учет фактического использования ж.д. грузовых фронтов*** и Д-М для обработки вагонов	***Корректировка мероприятий по повышению пропускной способности ж.д. грузовых фронтов***	***Корректировка системы обеспечения выполнения нормативов обработки вагонов***
Календарный	**Уточнение параметров (нормативов) обработки вагонов в порту**	***Обоснование специализации ж.д. грузовых фронтов***			

Продолжение таблицы.

1		2	3	4	5	6
Оперативный	Месяц	**Планирование поступления и обработки** судов **и вагонов**	***Уточнение специализации ж.д. грузовых фронтов***	**Учет и анализ обработки вагонов за месяц**	***Корректировка специализации и пропускной способности ж.д. грузовых фронтов***	**Начисление штрафных санкций и бонусов за обработку вагонов**
	Декада	**Разработка планов обработки** судов **и вагонов**	**Разработка мероприятий по обеспечению выполнения планов обработки** судов **и вагонов**	**Сравнение графика** выхода Д-М **с графиком подхода** судов **и вагонов**	**Корректировка графика подхода вагонов** и выхода Д-М	**Оформление документов для начисления штрафных санкций и бонусов по результатам обработки вагонов**
	Сутки	**Распределение вагонов** и Д-М **между ж.д. грузовыми фронтами**	**Разработка заявок на формирование подач вагонов** и выделение Д-М для их обработки	**Накопление данных по обработке ж.д. вагонов**	**Корректировка заявок на формирование подач вагонов** и выделение Д-М для обработки вагонов	
	Смена	**Распределение вагонов** и Д-М **по ж.д. грузовым фронтам**	**Формирование подач вагонов и расстановка их** и Д-М **по ж.д. грузовым фронтам**	**Учет обработки вагонов**	**Корректировка расстановки вагонов** и Д-М **по ж.д. грузовым фронтам**	**Подготовка данных для начисления штрафных санкций и бонусов за обработку вагонов**

Группа основных задач выделена в таблице жирным шрифтом, предшествующих – жирным курсивом, сопутствующих – подчеркиванием.

Решение задач основных процедур из функции планирования, как правило, требует специального научно-методического обеспечения. Остальные процедуры из перечня основных по своей сути являются рутинными, т. е. для своего выполнения не требуют специального методического обеспечения, а основаны на знании (выполнении) соответствующих инструкции и опыте работы управленческого персонала.

Список литературы

1. *Ветренко Л.Д., Ананьина В.З., Степанец А.В.* Организация и технология перегрузочных процессов в морских портах. // Учебник. – М.: Транспорт, 1989. 264 с.
2. *Лазарев Н.Ф.* Грузовые работы в морских портах. – М.: Транспорт, 1979. – 224 с.
3. *Степанец А.В.* Оптимальное оперативное управление работой морского порта.//Монография. – Владивосток: изд.: ИНТЕРМОР. 1999. – 210 с.
4. *Степанец А.В., Валькова С.С.* Показатели плана выполнения вагонных работ. // Материалы девятой международной НПК «Проблемы транспорта Дальнего Востока» (5 - 7 октября 2011 г.). – Владивосток, ДВО Российской академии транспорта, 2011. – С. 96-98.
5. *Степанец А.В., Верютина В.Е., Степанец И.А.* Управление работой порта: общие условия и управление работой порта в текущем периоде.// Учебное пособие. – Владивосток, Морс. гос. ун-т, 2011, – 160 с.
6. *Фролов А.С., Кузьмин П.В., Степанец А.В.* Организация, планирование и технология перегрузочных работ в морских портах. // Учебник. – М.: Транспорт, 1979. – 408 с.

05.22.07

[1]М.И. Глушко д.т.н., [2]Е.В. Федоров

[1]Уральский Государственный Университет Путей Сообщения,
кафедра «Электрическая тяга»

[2]Уральский Государственный Университет Путей Сообщения,
кафедра «Электрическая тяга», Fedorov335@yandex.ru

КОНТРОЛЬ ПЕРЕКРЫТИЯ КОНЦЕВЫХ КРАНОВ В ПОЕЗДЕ

Автотормоза являются универсальным средством обеспечения безопасности движения, поэтому перед отправлением все тормоза поезда должны быть включены. Однако в эксплуатации наблюдаются случаи потери тормозной эффективности вследствие перекрытия концевых кранов, поэтому контроль состояния концевых кранов имеет важное значение.

Ключевые слова: *Автоматические тормоза; безопасность движения; контроль целостности тормозной сети; циклограмма работы компрессора; концевые краны.*

Автоматические тормоза содержат одно из самых ответственных и опасных звеньев – концевые краны, которые последовательно соединяют магистраль вагонов в единую цепь управления. Поэтому безопасность движения определяется, в первую очередь, надёжностью управления тормозными средствами за счёт обеспечения целостности тормозной магистрали поезда, когда закрыты только концевые краны свободных соединительных рукавов локомотива и последнего вагона.

Столкновение поездов 11.08.2011 г. на перегоне Ерал-Симская напомнило о важности контроля состояния тормозной системы поезда вообще и концевых кранов в особенности. Грузовой поезд с двумя локомотивами, управляемыми по схеме СМЕТ, оказался без тормозов вследствие перекрытия концевых кранов между локомотивами и догнал впереди идущий поезд. Произошло столкновение двух грузовых поездов с тяжёлыми последствиями. Ситуацию создали удивительную: на головном локомотиве тормоза в порядке; второй локомотив держит тормозную систему состава в полной готовности; но схема СМЕТ и комплект приборов безопасности в данной ситуации оказались несостоятельными. В телеграмме из ОАО «РЖД» от 13.08.2011 г. выдвинуто требование: «ЦТ рассмотреть вопрос разработки и внедрения устройств контроля плотности тормозной магистрали»; подготовлены и соответствующие поручения вице-президентов.

Прежде чем приступать к решению заданной прикладной задачи, следует внимательно ознакомиться с условиями, которые задаёт эксплуатация. Контроль состояния тормозной сети поезда в настоящее время производиться методом проверки плотности по расходу сжатого воздуха. Так, в грузовом поезде измеряют время падения давления в главных резервуарах локомотива на величину 0,5 кгс/см^2 после предварительного понижения давления на 0,4–0,5 кгс/см^2 момента отключения компрессора. Полученный результат сравнивают с нормативами, установленными в зависимости от серии локомотива, объёма главных резервуаров и длины состава, которая задаётся с шагом 50 осей.

Очевидно, применяемая технология приводит к значительной погрешности, требует участия оператора для проверки параметров и провоцирует его обвинение в случае отклонения их от норматива; ожидание предварительного понижения давления вообще выходит за пределы логики, как и отсчёт времени машинистом с помощью подручных средств.

Из анализа сложившейся операции проверки плотности для решения задачи требуется исходить из следующих условий: автоматизировать отсчёт времени $t_У$ понижения давления; диапазон давления для расчёта времени принять равным максимальному перепаду давления Δp в главных резервуарах объёмом V; для отсчёта времени применить электрические сигналы реле давления, управляющего циклической работой компрессора; количественную

оценку расхода сжатого воздуха производить не по времени, а по числу вагонов с принятой нормативной утечкой из одного условного вагона (20 л/мин); для повышения точности контроля ввести в расчёты фактический объём всей питательной сети $V_Ф$.

Тогда число вагонов N с нормированной утечкой определяется из выражения

$$N = \frac{3\Delta p V_Ф}{t_У}, \quad (1)$$

Только таким способом проверки плотности можно определить раздельные показатели для локомотива и состава вагонов поезда, что очень важно для полного опробования автотормозов при техническом обслуживании.

Выбор правильного направления сделан в работе [1], которая содержит описание готового устройства контроля пневматических сетей поезда (УКТС). Устройство обладает важными функциями и позволяет раздельно определить показатели плотности пневматической сети локомотива, пневматических сетей поезда и пневматической сети вагонов в составе; производительность компрессорной установки и фактический объём главных резервуаров локомотива, а также отклонение показателя плотности пневматических сетей поезда на 20 %.

Все указанные свойства уже десять лет назад были подтверждены результатами длительных стендовых испытаний и эксплуатационной проверки на Свердловской дороге.

Однако проверка плотности сама по себе не может служить способом контроля перекрытия концевых кранов, особенно в тормозной системе повышенной герметичности, а также в пассажирском поезде, где плотность до настоящего времени контролируется по темпу понижения давления в тормозной магистрали после отключения питания.

В 60-е годы прошлого века от беспокойных работников транспорта поступили предложения на способ контроля перекрытия концевых кранов по времени выпуска воздуха из тормозной магистрали при торможении и по характеру выпуска воздуха из тормозной магистрали после перевода ручки крана машиниста из первого положения в поездное. Все подобные способы обладают существенной погрешностью, и к тому же в случае применения таких способов вся ответственность возлагалась на машиниста, который был обязан выполнять задаваемые операции и проводить расчёты по результатам собственных измерений.

Цель контроля целостности тормозной магистрали поезда достигается в том случае, если будет выявлено не только её нарушение, но и дистанционное обнаружение места перекрытия концевых кранов по числу вагонов, подключённых к тормозной магистрали поезда. Указанная цель может быть достигнута только при условии измерения расхода сжатого воздуха, идущего на подзарядку автотормозов после выполненного торможения при известном расходе сжатого воздуха на один вагон. Наиболее приемлемым вариантом является использование дополнительной разрядки тормозной магистрали, выполняемой каждым воздухораспределителем при первом срабатывании на торможение. Дополнительная разрядка является конструктивным свойством воздухораспределителя, и её величина составляет 0,5 кгс/см^2 [2]. Остаётся только определить количество воздуха, идущего на восстановление зарядного давления по всей магистрали. С этой целью вначале определяют расход сжатого воздуха на утечки по формуле

$$q_У = \frac{\Delta p V}{t_У}. \quad (2)$$

Затем сразу после выключения компрессора вызывают срабатывание тормозов поезда на дополнительную разрядку тормозной магистрали при постоянном продолжающемся питании от крана машиниста; определяется количество сжатого воздуха Q, идущего на отпуск тормозов, за цикл понижения давления до момента включения компрессора. Уравнение баланса сжатого воздуха за время t цикла проверки запишется в виде

$$q_У t + Q = \Delta p V, \quad (3)$$

или после преобразований с учётом того, что $\Delta p V = q_У t_У$, получим

$$Q = q_У (t_У - t) = q_У \Delta t_У. \quad (4)$$

Число вагонов N при известном объёме v тормозной магистрали одного вагона и величине дополнительной разрядки 0,5 кгс/см^2 определится из выражения

$$N_У = 2\frac{q_У}{v}\Delta t_У \qquad (5)$$

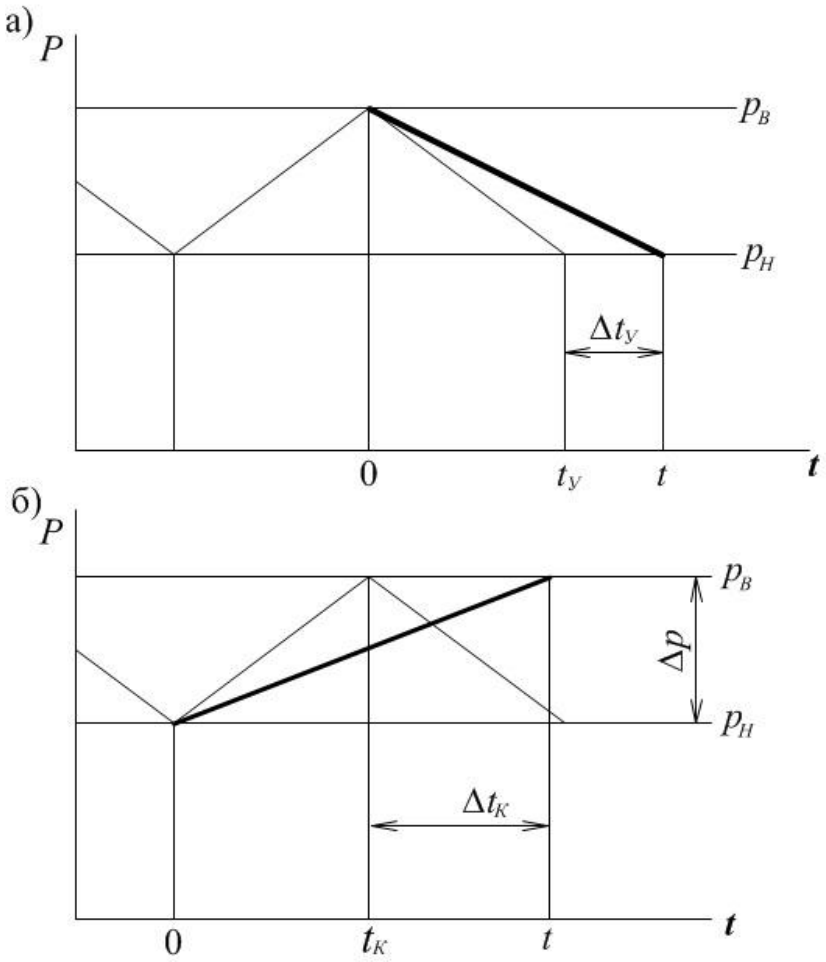
Способ может применяться также при цикле работы компрессора. Для этого случая вначале определяется производительность компрессора с учётом имеющихся утечек $q_К = \frac{\Delta pV}{t_К}$.

Затем при автоматическом включении компрессора выполняется дополнительная разрядка тормозной магистрали. После составления аналогичного уравнения баланса сжатого воздуха и преобразований для цикла работы компрессора получаем

$$N_К = 2\frac{q_К}{v}\Delta t_К\,. \qquad (6)$$

Получаемые по формулам (5) и (6) результаты совершенно идентичны, и если процесс восстановления зарядного давления в обоих случаях соответствует продолжительности циклов компрессора, то $N_У = N_К$ и получаем пропорцию

$$\frac{t_К}{t_У} = \frac{\Delta t_К}{\Delta t_У}. \qquad (7)$$



а) контроль целостности тормозной магистрали при неработающем компрессоре
б) контроль целостности тормозной магистрали при работе компрессора
Рисунок 1 – Циклограмма работы компрессора локомотива

На *рисунке 1* представлена циклограмма работы компрессорной установки локомотива с применением способа контроля тормозной магистрали на двух ветвях циклограммы. Следует также отметить особенности полученных результатов исследования:

– при реализации способа контроля перекрытия концевых кранов не требуется точного совпадения полученного показателя N с фактическим числом $N_Ф$ контролируемых вагонов; оба показателя вводятся в память при полном опробовании, а на перегоне в случае отклонения показателя на величину ΔN место перекрытия в поезде находится из соотношения $N_X = N_Ф (1 - \Delta N/N)$;

– разработанный способ не требует определения фактического объёма главных резервуаров, так как контроль производится по времени и по расходу из общего объёма;

– с целью повышения достоверности контроля следует по времени t_K и $t_У$ выбирать цикл большей продолжительности.

Способ контроля целостности тормозной магистрали с дистанционным обнаружением перекрытия концевых кранов целесообразно ввести в технологический процесс обслуживания автотормозного оборудования; применение способа в эксплуатации перед каждым отправлением поезда позволит предотвратить случаи отказа автотормозов вследствие перекрытия концевых кранов.

Список литературы

1. *Глушко М.И.* И снова … тормоза. Локомотив. № 10. 2011. С. 14-15.
2. *Иноземцев В.Г.* Тормоза железнодорожного подвижного состава. – Москва.: Транспорт, 1979. С. 263.

05.13.01

А.О. Голубева

Костромской государственный технологический университет,
кафедра информационных технологий,
г. Кострома , iggrasill@mail.ru

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕХАНИЗМА АДАПТАЦИИ ПРОЦЕССОВ ОРГАНИЗАЦИИ В АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ

В статье рассмотрен механизм адаптации процессов подготовки производства под показатели заказа продукции. Предложена методика оценки экономической эффективности механизма адаптации с использованием нотации BPMN для моделирования бизнес-процессов в программной пакете Corel iGrafx Enterprise .

Ключевые слова: *автоматизация, управление, адаптация, процессы.*

Функционирование предприятий в условиях рыночной экономики сформировало новые задачи и требования к деятельности их аппарата управления и организационных структур, во многих из которых продолжают сохраняться старые методы и организационные формы, сдерживающие их адаптацию к рыночным условиям. Вопросы выбора рациональной структуры управления являются ключевыми, определяющими основные тенденции организационных изменений и развития предприятия, при этом предприятия самостоятельно должны выбирать варианты реструктуризации, не нарушающие, а, напротив, стимулирующие развитие рыночных отношений в отечественной промышленности. Такая ситуация формирует задачу поиска новых эффективных адаптивных структур, обладающих целенаправленностью, гибкостью и разнообразием, а также разработки механизмов перехода к ним.

Многие отечественные предприятия до сих пор функционируют с иерархической структурой управления, которые обладают низким уровнем адаптивных возможностей. Для снижения рисков при переходе от иерархической оргструктуры к адаптивной предложен новый механизм адаптации к рыночным условиям, основное содержание которого заключается в том, чтобы осуществлять настройку процессов подготовки производства, протекающие в системе управления, под характеристики заказываемой продукции. Такой подход позволит оптимизировать процессы путём устранения избыточных функций и делегирования полномочий. Решить столь сложную задачу можно с использованием инновационных информационных технологий.

Для разработки механизма адаптации процессов под заказ на первом этапе выявлены характеристики заказов, влияющих на состав функций в процессах подготовки производства. Задача решалась на примере предприятия по пошиву одежды. На предприятиях такого типа заказы ранжируются по следующим признакам: величина объема, частота заказов, тип, сезонность, потребительская категория, целевая ориентация, возобновляемость модели, уровень модернизации, отношение к размерному ряду, требования к качеству [1]. На следующем этапе на основе метода экспертных оценок выявлены наиболее значимые показатели заказов: уровень модернизации, отношение к размерному ряду и требования к качеству.

Тип заказа (*TO*) определяется через множество

$$TO \subseteq LM \times SL \times RQ, \quad (1)$$

где *LM* – уровень модернизации, *SL* – размерный ряду, *RQ* – требованиям к качеству.

Декартово произведение (1) порождает различные комбинации значений параметров заказа, а каждая комбинация порождает различный набор функций в бизнес-процессе. Таким образом, модель функциональных отношений можно представить как

$$RF : TO \rightarrow F \qquad (2)$$
$$Time : BP \times TO \rightarrow T,$$

где *RF* – отображение типа заказа во множество функций F, *Time* – отображение множества бизнес-процессов в их длительность (множество T) в зависимости от типа заказа.

Для решения задач генерации моделей процессов в автоматическом режиме и их последующей реализации разработаны системы классификации и кодирования показателей продукции. Разработан алгоритм создания системы классификации и кодирования параметров заказа продукции. Расчётное значение вводится в ИС в соответствующие поля форм, спроектированных в программном комплексе (ПК) «Cobra++», в результате чего автоматически генерируется модель рационального процесса подготовки производства и изготовления заказа из набора типовых моделей процессов, функционирующих на предприятии.

Количество комбинаций (1), порождаемых показателями БП, может быть различным, что создаёт проблему количественного анализа функций процесса и создание для каждой комбинации функций модель процесса. Решением задачи явилось выделение групп схожих БП, изучение их особенностей, анализ необходимых характеристик и построение для каждой группы модели путем выделения прототипа процесса. Эффективным подходом к решению проблемы стало применение метода кластеризации. Разбиение выборки на группы позволило упростить дальнейшую обработку данных и принимать решения по каждому кластеру. При проведении кластеризации EM-алгоритмом было задано три кластера, что обусловлено «идеологическим» подходом по разделению БП на максимальный, средний и минимальный по сложности. Далее использовалась кросс-проверка (для нахождения или подтверждения) оптимального числа кластеров. Результат v-кросс-проверки показал, что оптимальное количество кластеров – 3.

При оценке полученных кластеров использовался коэффициент сложности БП, определяемый как отношение количества уровней декомпозиции модели процесса к сумме работ процесса. Для каждого кластера выбирается БП с наибольшим коэффициентом сложности для максимального включения в процесс функций. Полученные прототипы позволяют не только упростить анализ характеристик БП (время, стоимость, фрагментарность), но и облегчить реализацию в ПК «Cobra++», на выбранном программном обеспечении.

Для доказательства успешности предложенного механизма адаптации процессов подготовки производства необходимо определить его экономическую эффективность. Для этого требуется смоделировать БП: базовый и три прототипа, полученные в результате кластеризации. В качестве инструментов рассмотрены следующие нотации: методология ARIS, семейство IDEF и стандарты OMG. При рассмотрении методологии ARIS были выявлены такие недостатки как сложность и чрезмерная детализированность, что требует достаточного долгого времени на изучение сложной системы обозначений. К тому же при постоянно изменяющейся внешней среде затруднительно использование «громоздкой» методологии. При рассмотрении семейства IDEF выявлен недостаток, связанный с ограничением количества объектов на одной диаграмме (не более 8 штук), что обусловлено направленностью данных нотаций на верхний уровень проектирования. Среди стандартов OMG выделяют UML (диаграмма активности) и BPMN. Безусловно, к положительным моментам UML относятся интуитивно понятные обозначения, схожие с блок-схемами. Однако окончательный выбор был сделан в пользу BPMN, обладающей рядом преимуществом по сравнению со стандартом UML: отображение таймеров, работа с бизнес-исключениями и возможность не только выделять пользователями «плавающие дорожки», но и объединять их в пулы. Кроме того, существует возможность отображения объекта данных и базу данных [2].

Для работы с диаграммами BPMN существует более 70 программных продуктов, среди которых Oracle BPM Suite, IBM Web Sphere Business Modeler Advanced и многие другие. При решении задачи настоящего исследования был выбран программный пакет Corel iGrafx Enterprise, предназначенный для анализа и имитации БП. Продукт обладает интуитивно-понятными средствами анализа и генерации отчетов. В целом программный комплекс можно охарактеризовать как продукт с мощным функционалом, но весьма «дружественным» интерфейсом.

В пакете были построены четыре БП: базовый и три прототипа. На рис. 1 приведен прототип 2-го кластера (минимальный БП), построенный в нотации BPMN с помощью пакета IGrafx.

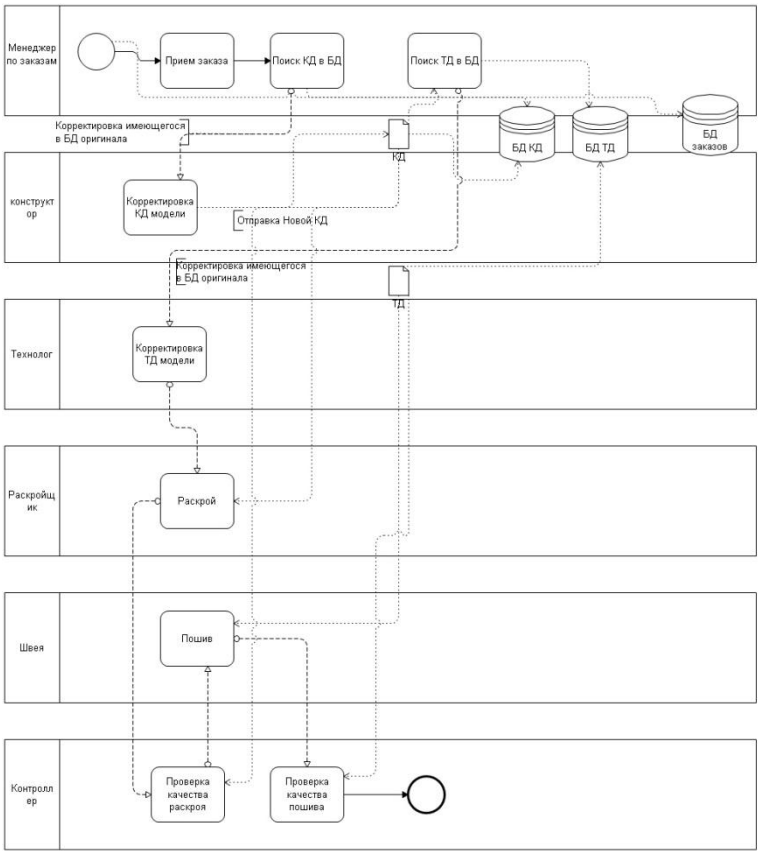


Рис. 1 – Модель «минимального» бизнес-процесса в нотации BPMN

При построении БП, каждой из работ назначался определенный временный промежуток или временная константа. В модели базового бизнес-процесса вводился элемент субпроцесс для работы с конструкторской и технологической документацией. При определении «человеческих» ресурсов учитывались стоимостные затраты. После построения моделей БП для каждого из них был сформирован отчет, содержащий информацию о временных, стоимостных и «человеческих» затратах. Анализ четырех отчетов позволил получить следующие статистические данные. При сравнении базового БП и Corel iGrafx Enterprise сгенерировать продукт данные в табличном виде и в графическом. Все данные распределяются по трем направлениям: транзакции, ресурсы, объекты. Пользователь может легко получить сведения о времени цикла, времени работы, времени ожидания ресурса и многое другое. К тому же пакет позволяет производить операции импорта-экспорта с приложениями Microsoft Office.

Таким образом, предложен подход к оценке экономической эффективности механизма адаптации бизнес-процессов подготовки производства под характеристики заказа. Применение подхода к оценке с использованием ПП Corel iGrafx Enterprise подтвердило целесообразность предложенного механизма с положительной экономической эффективностью.

Список литературы

1. *Голубева А.О.* Мониторинг заказов промышленного предприятия при переходе к адаптивным системам управления // Сборник статей по материалам Всероссийской научно-технической конференции «Промышленная безопасность» - Йошкар-Ола: Марийский государственный технический университет, 2011. – С. 100-102
2. *Самуйлов К.Е., Серебренникова Н.В., Чукарин А.В., Яркина Н.В.* Основы формальных методов описания бизнес-процессов: Учеб. Пособие – М.: РУДН, 2008 – С. 44-54

05.07.05

С.А. Гусаров к.т.н.

Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет «МАИ»),
Москва, gus@mai.ru

ВЫБОР ОСНОВНЫХ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КОМБИНИРОВАННОЙ ГАЗОПАРОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ НА БАЗЕ АВИАЦИОННОГО ТВД ТВ7-117С

В статье приведены результаты расчетов по выбору основных термодинамических параметров газотурбинной и паротурбинной частей комбинированной энергетической установки на базе ТВД ТВ7-117С.

Ключевые слова: *газотурбинная установка; основные параметры; эффективность; комбинированный цикл.*

Анализ положения дел в теплоэлектроэнергетике показывает, что газотурбинные энергетические установки (ГТУ) будут играть важную роль во все возрастающей потребности народного хозяйства в электрической и тепловой энергии. При этом наряду с мощными базовыми теплоэлектроцентралями (ТЭЦ) будут необходимы мини-ТЭЦ с относительно небольшой присоединенной нагрузкой 1…5 МВт, находящейся в диапазоне мощностей авиационных ТВД.

За шестьдесят лет использования газотурбинного двигателя (ГТД) в качестве авиационного двигателя они достигли высокой степени совершенства. Вместе с тем ГТУ не получили широкого распространения в других отраслях техники из-за сравнительно низкой тепловой экономичности ГТД, характерной для высокотемпературных двигателей открытого цикла Брайтона.

Радикально решить эту проблему можно за счет утилизации тепла выхлопных газов ГТД (температура которых достигает 700…1000 К) путем применения комбинированных циклов. Такие комбинированные газопаротурбинные установки (ГПТУ) используют принцип утилизации тепла отходящих газов ГТД в паротурбинной установке (ПТУ) замкнутого цикла (цикла Ренкена) [1;2].

В статье рассмотрены вопросы выбора основных параметров ГПТУ – газотурбинной и паротурбинной частей – и приведены результаты термогазодинамического расчета комбинированного цикла энергоустановки, создаваемой на базе авиационного ТВД ТВ7-117С [3].

При проектировании комбинированной ГПТУ на базе авиационного ТВД ТВ7-117С исходные расчеты состоят в согласовании основных термогазодинамических параметров газотурбинной, паротурбинной и теплофикационной частей установки. Для этих целей была рассчитана и построена T-S-диаграмма термодинамических процессов в КЭУ и ее элементах. На рис.1 приведено условное совмещение цикла ГТУ (цикла Брайтона) с циклом ПТУ (циклом Ренкена). Условность такого совмещения определяется тем, что T-S-диаграмма строится для одного килограмма (или моля) определенного рабочего тела, а в комбинированной ГПТУ в ее газотурбинной и паротурбинной частях они различны как по количеству, так и по своим теплофизическим свойствам.

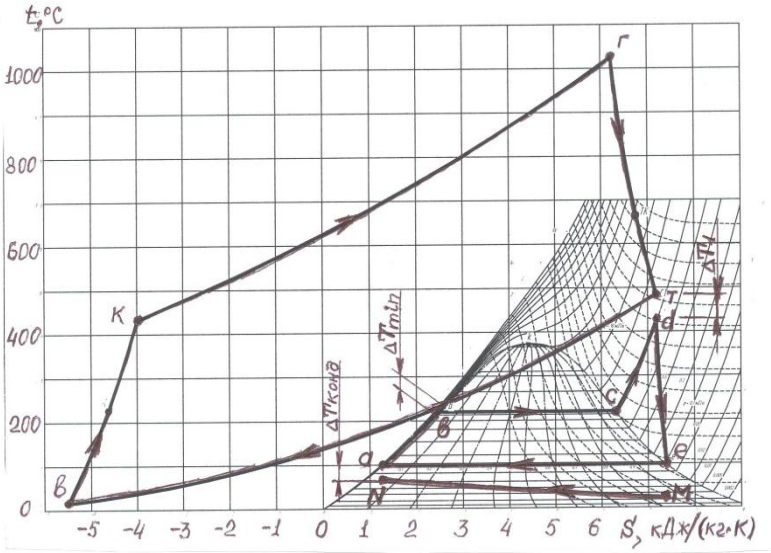


Рис. 1 - T-S комбинированного цикла ГПТУ

Термогазодинамический расчет цикла газотурбинная части [4] комбинированной ГПТУ проводился при следующих исходных данных:

- расход воздуха ……...……. $G_в$ = 8 кг/с
- степень сжатия в компрессоре ……...…… $\pi_{к\Sigma}^*$ = 15
- начальная температура газа ……...…… $T_г^*$ = 1100 1300 1500 1700 К.

Температура выхлопных газов газотурбинной части ГПТУ составляла по расчетам соответственно 645, 758, 872, 987 К. Оставшийся после газотурбинной части теплоперепад разделяется на две части. Первая часть используется для генерации перегретого пара в низконапорном парогенераторе (ПГ), а вторая низкопотенциальная часть – для подогрева горячей воды из теплофикационной системы (ТФС) в утилизационном водогрейном котле (УВГК).

В паротурбинном цикле комбинированной ГПТУ реализуется термодинамический цикл Ренкена [5] с полной конденсацией отработавшего пара в пароводяном воздушном конденсаторе с вентиляторным обдувом (так называемой «сухой» градирне).

Выбор целесообразных начальных значений паротурбинного цикла $p_{пп}$ и $T_{пп}$ основывался на всестороннем учете большого числа показателей ПТУ, что представляет собой сложную техническую задачу, особенно при проектировании комбинированной ГПТУ на базе авиационного ТВД, параметры газотурбинной части которой заданы. Проектирование, в этом случае, необходимо вести по заранее установленному значению степени сухости рабочего тела за паровой турбиной.

Выбор начальных параметров паротурбинного цикла проводился с учетом необходимости обеспечения соответствующих теплоперепадов между изменением температуры системы «вода – водяной пар» [6]. Эти перепады температур ΔT_1, ΔT_{min}, $\Delta T_{конд}$ на любом режиме работы должны быть положительными и иметь определенные значения для получения целесообразных теплотехнических характеристик.

Расчет основных параметров паротурбинного цикла проводился по T-S-диаграммы (рис.1) с зависимостями изменения температуры выхлопных газов ГТУ (кривая *т-в*) и изменением температуры воздуха осуществляющего воздушную конденсацию (кривая *M-N*).

Главным условием при выборе параметров паротурбинного цикла является расположение его (линии *a-b-c-d-e)* между вышеуказанными кривыми при условии, что температурные градиенты ΔT_1, ΔT_{min}, $\Delta T_{конд}$ будут иметь приемлемые значения.

Если стремится спроектировать паротурбинную часть комбинированной энергоустановки с тем же уровнем давлений, что и газотурбинная часть, то «однотипность» машин в газовой и паровой частях будет иметь ряд эксплуатационных преимуществ. Кроме того, если использовать безвакуумный конденсатор, то будем иметь давление на линии конденсации

е-а, равное атмосферному $p_{атм}$*=0.101325 Па* и температуру конденсации $T_{конд}$*=373 К (+100°С).* Целесообразно процесс расширения в паровой турбине кончать на границе насыщения (точка *е*), чтобы избежать выпадения влаги в турбине.

При выполнении этих условий для известной из тепмогазодинамического расчета газотурбинной части температуры выхлопных газов и выбранного значения ΔT_1 положение точки *d* определяется однозначно. Если, кроме того, задаться величиной ΔT_{min}, то можно найти количество пара $G_п$ *кг/с*, которое при этих условиях может быть генерировано выхлопными газами газотурбинной части, расход которых $G_г$ *кг/с* известен.

Отношение величин $G_п$ и $G_г$ определяет важнейший параметр комбинированной ГПТУ – так называемое паровое отношение $m_п$ (относительный расход пара). Из уравнения теплового баланса в парогенераторе получено выражение для расчета парового отношения

$$m_п = \frac{G_п}{G_г} = \frac{c_{рг}[T_{ст}-(T_в+\Delta T_{min})]}{r_п+(i_d-i_c)} \quad (1)$$

Далее отсюда можно определить расход пара $G_п$ *кг/с*, который генерируется в парогенераторе комбинированной ГПТУ

$$G_п = m_п \cdot G_г \quad (2)$$

Анализ всех этих факторов и проведенные предварительные расчеты показывают, что основные термодинамические параметры паротурбинного цикла в комбинированной ГПТУ на базе авиационного ТВД ТВ7-117С будут следующие: $p_{пп}$*=2.0 МПа,* $T_{пп}$*=586 700 812 927 К,* $G_п$*= 0.65 1.04 1.35 1.61 кг/с.* Мощности газотурбинной части энергоустановки при этом составляют $N_{ГТУ}$*=0.86 1.70 2.54 3.40* МВт, а КПД ГТУ составит $\eta_{eГТУ}$*=0.18 0.27 0.30 0.31.* Мощности паротурбинной части энергоустановки соответственно составят $N_{ПТУ}$ *= 0.36 0.67 1.02 1.39* МВт, а суммарный КПД комбинированной ГПТУ будет η_e*=0.256 0.381 0.421 0.433.*

На рис.2 построены расчетные зависимости изменения мощности и КПД газотурбинной части, паротурбинной части и комбинированной ГПТУ в целом от начальной температуры газа ГТУ. Расчеты показывают, что при увеличении начальной температуры газа ГТУ от 1100 К до 1700 К суммарная мощность ГПТУ возрастает с 1.22 МВт до 4.78 МВт, а суммарный эффективный КПД комбинированной энергоустановки с 0.26 до 0.43.

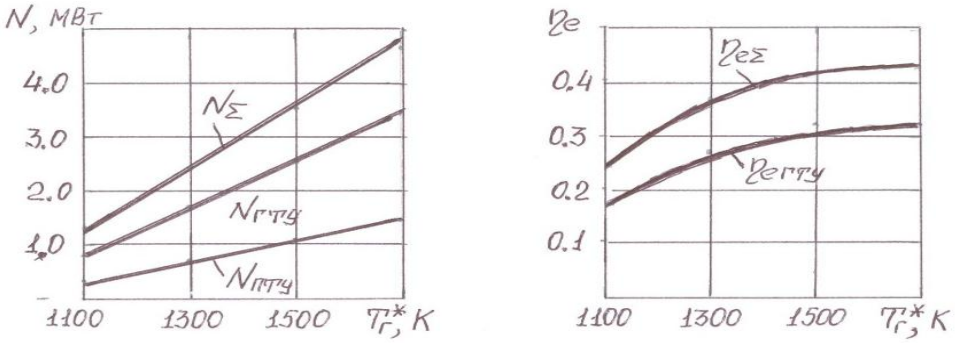


Рис. 2 – Зависимости мощности и КПД комбинированной ГПТУ от начальной температуры цикла ГТУ

Расчеты показывают, то при начальной температуре цикла ГТУ более 1500 К, температура газа перед свободной силовой турбиной будет превышать 1200 К. Дальнейшее повышение начальной температуры газа перед свободной силовой турбиной потребует введения ее охлаждения и будет приводить к усложнению конструкции.

Кроме того для наземных ГТУ требуется иметь общий ресурс не менее 100000 часов, а ресурс между переборками не менее 25000 часов. С этой целью начальная температура газа в комбинированной энергоустановке была принята $T_г^*$=1300 К, т.е. снижена по сравнению с авиационным ТВД ТВ7-117С на 200К.

Таким образом, для комбинированной ГПТУ на базе авиационного ТВД ТВ7-117С можно рекомендовать следующие основные термогазодинамиеские параметры:

- начальная температура газа ГТУ $T_г^* = 1300\ К$;
- суммарная степень повышения давления $\pi_{к\Sigma}^* = 15;$
- давление перегретого пара $p_{пп} = 2.0\ МПа$;
- температура перегретого пара $T_{пп} = 700\ К.$

Дальнейшее совершенствование КЭУ может происходить за счет увеличения начальной температуры газа ГТУ до 1500К.

Список литературы

1. *Арсеньев А.В.* Комбинированные установки электростанций. Учебное пособие. – Санкт-Петербург, СПГТУ, 1993. – 94 с.
2. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций / С.В.Цанев, В.Д.Буров, А.Н.Ремезов. – М.: Изд-во МЭИ, 2002. – 579 с.
3. Двигатели 1944-2000: авиационные, ракетные, морские, наземные. – М.: ООО «АКС-Конверсалт», 2000. – 434 с.
4. Теория, расчет и проектирование авиационных двигателей и энергетических установок / В.И.Бакулев, В.А.Голубев, Б.А.Крылов и др. – Под редакцией В.А.Сосунова, В.М.Чепкина. – М.: Изд-во МАИ, 2003. – 688 с.
5. Термодинамика: учебное пособие для вузов. В 2-х ч. / В.П.Бурдаков, Б.В.Дзюбенко, С.Ю.Меснянкин, Т.В.Михайлова. – М.: Дрофа, 2009. – 479 с.
6. *Емин О.Н.* Использование авиационных ГТД для создания наземных транспортных и стационарных энергетических установок: Учебное пособие. – М.: Изд-во МАИ, 1998. -80 с.

05.13.18

[1]С.В. Дмитриев, [2]Т.Н. Каримов, [3]А.Х. Хайруллин

[1]Камская государственная инженерно-экономическая академия,
автомеханический факультет, кафедра дизайн и искусство интерьера, Набережные Челны
[2]Камская государственная инженерно-экономическая академия,
факультет автоматизации и прогрессивных технологий,
кафедра прикладная информатика и управление, Набережные Челны
[3]Камская государственная инженерно-экономическая академия,
факультет автоматизации и прогрессивных технологий,
кафедра автоматизация и информационные технологии, Набережные Челны

ПОСТРОЕНИЕ УНИФИЦИРОВАННОГО ПРОГРАММНОГО И ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ И СРЕДСТВ ИХ НАСТРОЙКИ

В работе представлен метод построения унифицированного программного и информационного обеспечений автоматизированной логистической транспортной системы и средств их настройки основанный на принципах многоуровневого матричного структурированного представления транспортно-технологического процесса.

Ключевые слова: *математические методы, комплекс программ, маршрутизация транспорта.*

В современных условиях для развития любой транспортной компании в Российской Федерации задачи оптимизации грузопотоков и пассажиропотоков являются весьма актуальными и требуют инновационного подхода к их решению на основе применения современных автоматизированных логистических транспортных систем (АЛТС). Комплексные решения такого рода задач позволит предприятиям существенно сократить издержки на транспортировку товаров, а также улучшить качество предоставляемых услуг [1].

Проблема проектирования и широкого внедрения современных информационных логистических транспортных систем заключается в решении одновременно двух сложных задач с противоречивыми требованиями.

Первая задача состоит в создании сложного, практически уникального математического обеспечения, включающего в себе десятки различных, по своей сложности и разрешимости моделей и алгоритмов.

Вторая задача связана с неприемлемо для транспортных компаний большим временем и трудоемкостью настройки существующих АЛТС и большими затруднениями в эксплуатации, что является главной причиной невозможности широкого внедрения и эффективной эксплуатации таких систем на предприятиях [2].

В данной статье рассматриваются вопросы создания моделей, методов и соответствующих программных средств, обеспечивающих автоматизированный синтез математического и информационного обеспечений АЛТС на конкретного заказчиками, оперативную перенастройку программного комплекса (ПК) системы на любые возможные изменения входных параметров, условий, ограничений и дополнительных требований пользователей АЛТС. Транспортный процесс (ТП) может быть представлен в виде схемы, полученной на основе декомпозиции ТП и показанной на рис.1.

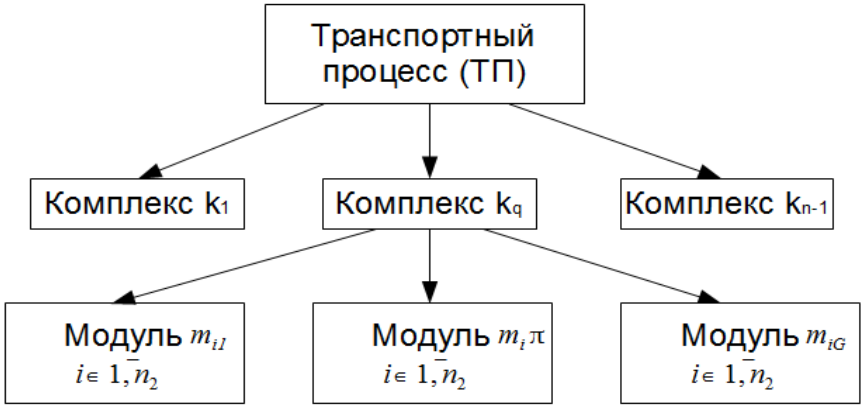


Рисунок 1.Декомпозиция ТП по функциональному назначению автотранспортного предприятия

Здесь элементами уровней декомпозиции ТП являются: на первом уровне варианты реализации самого транспортного процесса – ТП; на втором уровне – комплексы $k_q = \overline{1, n_1}$, на третьем уровне – технологические модули $m_i = \overline{1, n_2}$.

В случае если алгоритмы выполнения ТП и комплексов k_q представляет собой в нашей декомпозиции просто перечень имен элементов следующего нижестоящего уровня, то описания элементов самого нижнего уровня – модуля m_i, представляют собой в виду своей элементарности уже конкретный алгоритм действий (человек и/или компьютера) При этом входные параметры $\alpha_{i1}, \alpha_{i2}, ..., \alpha_{ij} (i = \overline{1, n_2}, j = \overline{1, \pi_i})$ этих элементарных модулей располагаются как бы на последнем, нижнем уровне декомпозиции ТП и играют совместно со списком комплексов и модулей роль векторов настройки АЛТС на любые изменения условий, ограничений и требований заказчика. Таким образом, некоторая конкретная реализация ТП может быть представлена как подмножество всей совокупности k_q - вариантов реализации комплексов k_q:

$$\overline{K} = \{\overline{k}_{qj}\} (q = \overline{1, n_1}, j = \overline{1, r_q}) \quad (1)$$

где r_q - общее количество конкретных реализаций q-ого комплекса.

Комплекс $k_q (q = \overline{1, n_1})$ представляет собой алгоритмическое описание некоторой наиболее крупной самостоятельной функциональной задачи ТП. В качестве функциональных комплексов $k_q (q = \overline{1, n_1})$ транспортных процессов могут быть, для примера, приведены:

- оптимальный выбор из имеющихся в наличии АТС для транспортировки заданным потребителям необходимого количества товаров;
- выбор рациональной схемы загрузки заданного вида товаров в выбранный тип АТС;
- поиск оптимального маршрута развоза товаров для каждого выбранного АТС с учетом разрешенных для него сетей дорог;
- прогнозирование на основе статистических данных возможного объема расхода (продажи) товаров (например, бензина на АЗС) в предстоящие N суток;

В частном случае функция (алгоритм) представляет собой сетевой граф, матрицу смежности или просто вектор вида:

$$\Phi = (k_1, k_2, ..., k_p), (p \in \overline{1, n_1}), \quad (2)$$

Выделение комплексов $k_1, k_2, ..., k_{n_1}$, присвоение им имен, формирование оператора Φ можно считать первым этапом системного анализа, формализации и алгоритмизации ТП.

В результате получается первый уровень (см. рисунок) детализации описания ТП в виде четверки $K, \Omega_{\aleph}, \Phi, TП$

Оператор Φ можно считать именем некоторого варианта ТП, значение которого зависит от конкретных состояний K и $\aleph$ (в упрощенном варианте от их численных значений). Значения Φ будем называть реализацией ТП.

Как правило, комплексы k_q транспортных процессов не являются наиболее элементарными кирпичиками технологии, из которых можно было бы компоновать все многообразие функциональных задач ТП и осуществлять автоматизированный синтез и настройку АЛТС на любые варианты реализации транспортных процессов. Поэтому требуется следующий наиболее детальный уровень описания операций ТП. Это достигается за счет выделения в комплексах $k_q (q = \overline{1, n_1})$ элементарных технологических модулей $m_i (i = \overline{1, n_2})$ и описания комплексов k_q через эти модули. Дальнейшее рассмотрение ТП показывает, что в качестве элементарных технологических модулей должны быть приняты в ТП систематически повторяющиеся, однородные по способу осуществления и применяемым процедурам, а также обособление в структурно-временном отношении действия технологов – диспетчеров, программистов и прикладных программ АЛТС.

В качестве элементарных технологических модулей могут быть выделены и структурно оформлены при алгоритмизации ТП такие процедуры, как:

1. вычисление суммарного расхода топлива по всем выделенным на сегодня АТС;
2. алгоритм нахождения кратчайшего расстояний от одной из вершин графа до всех остальных (метод имитации отжига) [3];
3. алгоритм построения минимального остовного дерева (MST) взвешенного связанного неориентированного графа и т.д;

Эти элементарные технологические модули обозначим символами

$$m_i (i = 1, 2, ..., n_2), \tag{3}$$

а множество возможных вариантов реализации конкретного модуля m_i символом M_i

$$\overline{M_i} = (\overline{m_{i1}}, \overline{m_{i2}}, ..., \overline{m_{i, r_i}}), \tag{4}$$

где r_i - общее количество конкретных реализаций i-ого элементарного модуля.

В процессе создания инструментальных программных средств автоматизированного синтеза и адаптации системы все вектора параметров настройки самого транспортного процесса, технологических комплексов и элементарных модулей должны быть структурированы в виде таблиц реляционной базы данных.

Список литературы

1. *Билоха В.А.* Применение методов теории графов для оптимизации грузопотоков // Наука и техника транспорта - 2005, №1 стр.68-70.

2. *Синельщиков Е.В., Турпищева М.С.* Модель оптимизации распределения грузопотоков между объектами астраханского транспортного узла с точки зрения минимизации интегральных издержек транспортного процесса // Вестник астраханского государственного технического университета - 2006, №2 стр. 73-76.

3. *Ипатов А.В.* Модифицированный метод имитации отжига в задаче маршрутизации транспорта // Труды института математики и механики уро ран - 2011, №4 стр.121-125

05.04.02

[1]С.В. Дмитриев д.т.н., [2]В.Б. Хлюпин

[1]Филиал Казанского (Приволжского) федерального университета,
автомеханический факультет, кафедра дизайна и искусства интерьера,
Набережные Челны

[2]Филиал Казанского (Приволжского) федерального университета,
автомеханический факультет, кафедра автомобилей и автомобильных двигателей,
Набережные Челны, elpet@rambler.ru

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАСЧЕТА ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ ДИЗЕЛЯ С ВПРЫСКОМ ВОДЫ В ВОЗДУХОЗАБОРНЫЙ ТРУБОПРОВОД

Рассмотрены результаты теоретических исследований математической модели сгорания топлива в дизеле с впрыском воды в воздухозаборный трубопровод с использованием расчетов равновесного состава продуктов сгорания и в сравнении с экспериментальными данными по составу продуктов сгорания с целью оценки экологических показателей дизеля с впрыском и без впрыска воды.

Ключевые слова: *математическая модель, процесс сгорания, токсичность, дизель, впрыск, вода.*

Для изучения токсичных характеристик двигателей внутреннего сгорания (ДВС) и, в частности, дизелей, используется расчет равновесного состава продуктов сгорания, который начинается с составления химических реакций, описывающих процесс сгорания топливно-воздушной смеси в ДВС и определения констант равновесия этих реакций [1]. Реакции для расчета, могут быть выбраны на основании имеющихся теоретических и практических исследований. При этом необходимо учитывать, что эти исследования не всегда относятся к ДВС. Поэтому выбор количества реакций, сочетания химических элементов в реакциях, констант равновесия является трудоемким процессом и должен учитывать экспериментальные исследования связанные непосредственно с ДВС.

В расчете стандартного дизеля применяют следующие химические реакции: $CO_2 \leftrightarrow CO + \frac{1}{2}\cdot O_2$; $H_2O \leftrightarrow H_2 + \frac{1}{2}\cdot O_2$; $H_2O \leftrightarrow OH + \frac{1}{2}\cdot H_2$; $N_2 \leftrightarrow 2\cdot N$; $N_2 + O_2 \leftrightarrow 2\cdot NO$; $H_2 \leftrightarrow 2\cdot H$; $O_2 \leftrightarrow 2\cdot O$. Эти реакции считаются наиболее вероятными при высоких температурах [3].

При расчете дизеля с впрыском воды в воздухозаборный трубопровод необходимо добавить химические реакции, которые учитывают влияние воды на процесс горения: $N_2 + OH \leftrightarrow NO + NH$; $NH + O_2 \leftrightarrow NO + OH$ [1].

В результате проведенных теоретических исследований с различным сочетанием химических реакций и их констант, было принято, что в состав продуктов сгорания входят следующие 12 компонентов: O, O_2, CO, CO_2, NO, N, N_2, H, H_2, OH, H_2O, NH. Химические реакции и константы их равновесия записаны в следующем виде [1,2,3]:

$$2\cdot CO + O_2 \leftrightarrow 2\cdot CO_2 \ , \qquad k_1 = \frac{p_{CO_2}^2}{p_{CO}^2 \cdot p_{O_2}} = \frac{29791}{T} + 0{,}000169\cdot T - \frac{32400}{T^2} - 9{,}495; \qquad (1)$$

$$H_2O \leftrightarrow H_2 + \frac{1}{2}\cdot O_2 \ , \qquad k_2 = \frac{p_{H_2}\cdot p_{O_2}^{0,5}}{p_{H_2O}} = 1000\cdot e^{\left(\frac{-30030}{T}\right)}; \qquad (2)$$

$$H_2O \leftrightarrow OH + \frac{1}{2}\cdot H_2\ , \qquad k_3 = \frac{p_{OH}\cdot p_{H_2}^{0,5}}{p_{H_2O}} = 6000\cdot e^{\left(\frac{-30000}{T}\right)}; \tag{3}$$

$$N_2 + O_2 \leftrightarrow 2\cdot NO\ , \qquad k_4 = \frac{p_{NO}^2}{p_{N_2}\cdot p_{O_2}} = 20{,}5\cdot e^{\left(\frac{-21740}{T}\right)}; \tag{4}$$

$$H_2 \leftrightarrow 2\cdot H\ , \qquad k_5 = \frac{p_H^2}{p_{H_2}} = 1{,}8\cdot 10^6\cdot e^{\left(\frac{-54080}{T}\right)}; \tag{5}$$

$$O_2 \leftrightarrow 2\cdot O\ , \qquad k_6 = \frac{p_O^2}{p_{O_2}} = 1{,}8\cdot 10^6\cdot e^{\left(\frac{-54080}{T}\right)}; \tag{6}$$

$$N_2 \leftrightarrow 2\cdot N\ , \qquad k_7 = \frac{p_N^2}{p_{N_2}} = 1{,}8\cdot 10^6\cdot e^{\left(\frac{-54080}{T}\right)}; \tag{7}$$

$$N_2 + O \leftrightarrow NO + N\ , \qquad k_8 = \frac{p_{NO}\cdot p_N}{p_{N_2}\cdot p_O} = 4{,}36\cdot e^{\left(\frac{-37745}{T}\right)}; \tag{8}$$

$$N + O_2 \leftrightarrow NO + O\ , \qquad k_9 = \frac{p_{NO}\cdot p_O}{p_{O_2}\cdot p_N} = 4{,}2\cdot e^{\frac{16130}{T}}; \tag{9}$$

$$N_2 + OH \leftrightarrow NO + NH\ , \qquad k_{10} = \frac{p_{NO}\cdot p_{NH}}{p_{N_2}\cdot p_{OH}} = 9{,}4\cdot e^{\left(\frac{-47215}{T}\right)}; \tag{10}$$

$$NH + O_2 \leftrightarrow NO + OH\ , \qquad k_{11} = \frac{p_{NO}\cdot p_{OH}}{p_{NH}\cdot p_{O_2}} = 2{,}263\cdot e^{\frac{25212}{T}}, \tag{11}$$

где p_i - парциальное давление компонента, обозначенного индексом i; T – температура реакции, К.

Были проведены теоретические и экспериментальные исследования дизеля 1Ч 8,5/11 с впрыскиванием воды в воздухозаборный трубопровод на режиме 1500 мин$^{-1}$ с частичной нагрузкой. Для проведения экспериментальных исследований был создан моторный стенд [4].

Для сравнения теоретических и экспериментальных результатов по выделению оксида азота было проинтегрировано уравнение [1]:

$$\frac{dr_{NO}}{d\tau} = \frac{p}{41{,}6\cdot T}\cdot\frac{k_{1n}\cdot r_{N_2}\cdot r_O}{(1+\frac{k_{1p}\cdot r_{NO}}{k_{2n}\cdot r_{O_2}})}\cdot(1-\frac{r_{NO}^2}{k_4\cdot r_{O_2}\cdot r_{N_2}}),$$

где r_{NO}, r_{N2}, r_O, r_{O2} – концентрации компонентов в объемных долях; k_{1n}, k_{1p}, k_{2n} – константы скоростей реакций, см^3/(моль·с); k_4 – константа равновесия; p и T – давление, 10^5 Па и температура, К; τ – время, с.

Расчет показал, что с увеличением впрыска воды w (где $w=G_{вод}/G_т$ – отношение массы воды к массе топлива, используемой в расчете) содержание NO в отработавших газах (ОГ) снижается. При этом опытные данные удовлетворительно согласуются с теоретическими (рис.1).

Теоретические расчеты по содержанию CO показывают увеличение количества данного компонента в ОГ к окончанию процесса расширения (рис.2). При впрыскивании воды выброс CO уменьшается по мере роста w. Экспериментальные данные по CO при впрыске воды показывают снижение только до w=1, дальнейшее увеличение w приводит к росту количества CO.

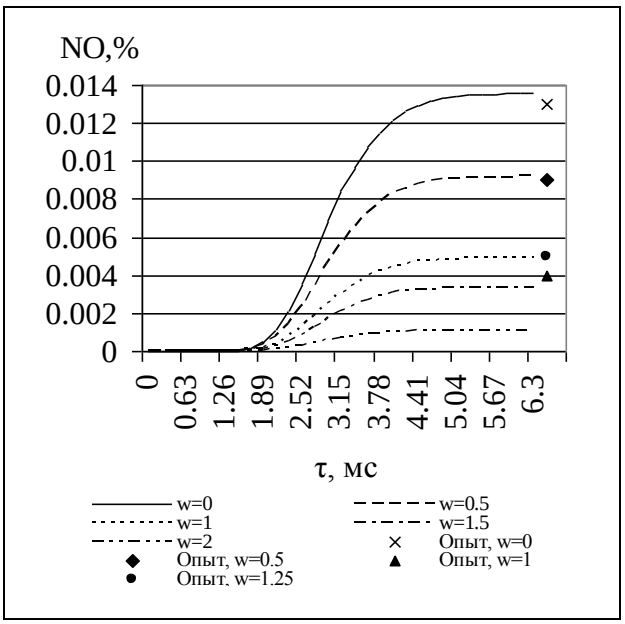


Рис. 1- Теоретические и экспериментальные данные содержания оксида азота в ОГ дизеля при впрыскивании воды

Также из графиков видно, что результаты теоретических расчетов превышают экспериментальные данные. Расхождение результатов математической модели и опытов по содержанию CO в ОГ может находиться во взаимосвязи с содержанием CO_2 в ОГ. Поэтому были рассмотрены экспериментальные данные полученные по диоксиду углерода.

Как видно из графиков (рис.3), где по оси абсцисс показана хронология процесса сгорания и расширения в градусах поворота коленчатого вала двигателя (п.к.в.), теоретическая зависимость содержания CO_2 в ОГ к окончанию процесса расширения снижается. По мере роста w кривые CO_2 возрастают. Эксперимент показал увеличение количества CO_2 в ОГ по мере роста w. Сравнивая теоретические и экспериментальные данные, можно заметить, что теоретическое содержание CO_2 оказывается меньше экспериментального. Очевидно в математической модели заниженные значения по CO_2 компенсируются завышенными значениями по CO.

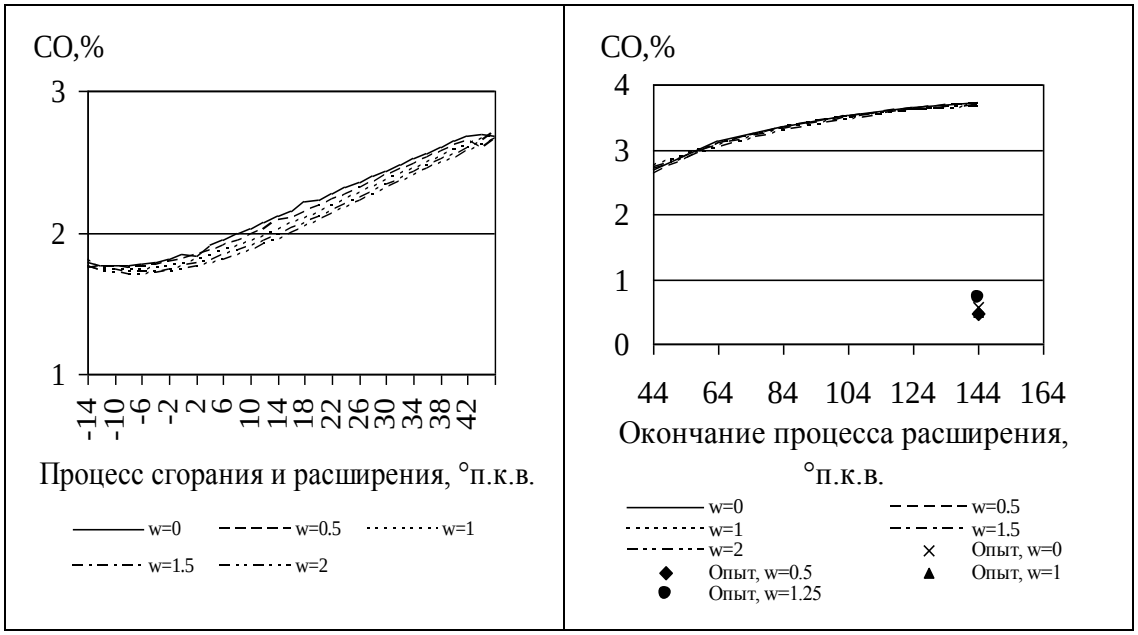


Рис. 2- Теоретические и экспериментальные данные содержания оксида углерода в ОГ дизеля при впрыскивании воды

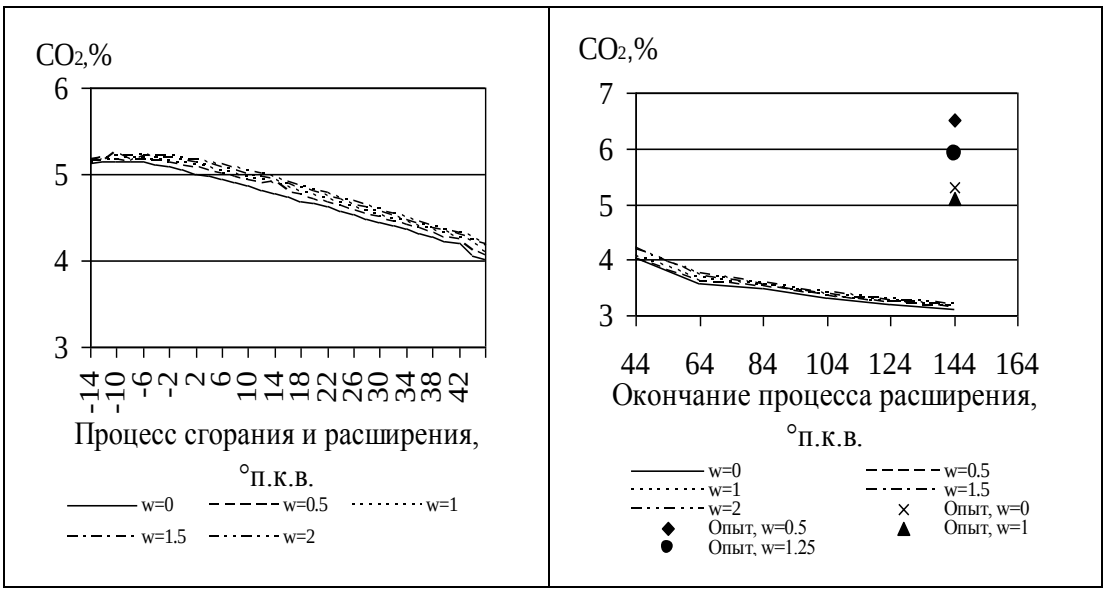


Рис. 3- Теоретические и экспериментальные данные содержания диоксида углерода в ОГ дизеля при впрыскивании воды

Теоретические и экспериментальные исследования по впрыскиванию воды во впускной трубопровод дизеля показали адекватность математической модели по выбросу оксида азота с ОГ. Отмеченные расхождения экспериментальных и расчетных данных по выбросам CO и CO_2 несущественно влияют на оценку экологических характеристик дизеля в рамках существующих требований к точности их оценки. Однако, представляет интерес дальнейшее теоретическое исследование свойств модели для адекватной расчетной оценки указанных характеристик дизеля.

Список литературы

1. *Звонов В.А.* Токсичность двигателей внутреннего сгорания. - 2-е изд., перераб. - М.: Машиностроение, 1981. - 160 с.
2. Краткий справочник физико-химических величин. Издание девятое / Под. ред. А.А. Равделя, А.М. Пономаревой. - СПб.: Специальная литература, 1998. - 232 с.
3. Моделирование рабочих процессов двигателей внутреннего сгорания на ЭВМ / Куценко А.С. - Киев: Наукова думка, 1988. - 104 с.
4. *Хлюпин В.Б.* Стенд для исследования показателей дизеля при впрыскивании воды // Проблемы и перспективы развития авиации, наземного транспорта и энергетики «АНТЭ -07»: Материалы международ. научн.-тех. конф. (Казань, 11-12 дек. 2007.). - Казань, 2007. - с.191-194.

05.04.02

[1]С.В. Дмитриев д.т.н., [2]В.Б. Хлюпин

[1]Филиал Казанского (Приволжского) федерального университета,
автомеханический факультет, кафедра дизайна и искусства интерьера,
Набережные Челны

[2]Филиал Казанского (Приволжского) федерального университета,
автомеханический факультет, кафедра автомобилей и автомобильных двигателей,
Набережные Челны, elpet@rambler.ru

УТОЧНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ РАСЧЕТА ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ ДИЗЕЛЯ С ВПРЫСКОМ ВОДЫ В ВОЗДУХОЗАБОРНЫЙ ТРУБОПРОВОД

Уточнена математическая модель расчета равновесного состава продуктов сгорания топлива в дизеле с впрыском воды в воздухозаборный трубопровод для исследования токсичных характеристик. Проведено сравнение теоретических и экспериментальных исследований экологических показателей дизеля с впрыском и без впрыска воды. Уточнена константа равновесия химической реакции $2 \cdot CO + O_2 \leftrightarrow 2 \cdot CO_2$ *для теоретических расчетов дизеля с впрыском воды в воздухозаборный трубопровод.*

Ключевые слова: *математическая модель, процесс сгорания, токсичность, дизель, впрыск, вода.*

Одним из способов снижения вредных выбросов с отработавшими газами (ОГ) дизелей является впрыск воды в воздухозаборный трубопровод. Вопросы, как теоретического, так и практического плана, связанные с добавлением воды в воздухозаборный трубопровод дизеля с точки зрения выброса вредных веществ недостаточно глубоко изучены, например, в части оценки методики расчета равновесного состава продуктов сгорания, касающейся выбора количества химических реакций, констант равновесия реакций, сочетания химических элементов в реакциях. Поэтому такие исследования представляют определенную актуальность.

Для расчета продуктов сгорания дизеля с впрыскиванием воды в воздухозаборный трубопровод необходимо провести соответствующий тепловой расчет. Такой расчет был проведен по стандартным методикам для дизеля с конструктивными элементами, реализующими впрыскивание воды в воздухозаборный трубопровод [2,8]. В качестве объекта исследования использовался дизель 1Ч 8,5/11 с номинальной частотой вращения коленчатого вала n=1500 мин$^{-1}$. При подаче воды учтены изменения: в количестве свежего заряда M_1; в количестве воды в ОГ M_{H_2O}; в теплоте сгорания топлива q_z; в изменении молярного веса μ топливно-воздушной смеси в процессе сгорания.

Выгорание топлива определялось по формуле И.И. Вибе [1], продолжительность задержки воспламенения по формуле А.И. Толстова [2].

Отношение теплоемкостей рабочего тела для любого промежуточного момента процесса сгорания:

$$k = k_{вв} - (k_{вв} - k_г) \cdot x$$

где $k_{вв}$ – отношение теплоемкостей водо-воздушной смеси; $k_г$ – отношение теплоемкостей продуктов сгорания; x – доля выгоревшего топлива к рассматриваемому моменту времени.

При расчете равновесного состава продуктов сгорания дизеля с впрыском воды в воздухозаборный трубопровод можно использовать следующие химические реакции [3,7]:

$2 \cdot CO + O_2 \leftrightarrow 2 \cdot CO_2$; $H_2O \leftrightarrow H_2 + \frac{1}{2} \cdot O_2$; $H_2O \leftrightarrow OH + \frac{1}{2} \cdot H_2$; $N_2 + O_2 \leftrightarrow 2 \cdot NO$;
$H_2 \leftrightarrow 2 \cdot H$; $O_2 \leftrightarrow 2 \cdot O$; $N_2 \leftrightarrow 2 \cdot N$; $N_2 + O \leftrightarrow NO + N$; $N + O_2 \leftrightarrow NO + O$;
$N_2 + OH \leftrightarrow NO + NH$; $NH + O_2 \leftrightarrow NO + OH$.

Для получения опытных данных был создан моторный стенд [9]. Экспериментальные исследования проведены на номинальном режиме 1500 мин$^{-1}$ при частичной нагрузке. Был выбран режим с частичной нагрузкой, поскольку на такие режимы приходится 29,2% относительного времени работы и 40% относительного количества выбросов ОГ в городском цикле. Во время разгона выброс относительного количества ОГ больше – 45%, но относительное время работы меньше – 18,5% [6].

Сравнение теоретических и экспериментальных исследований показало адекватность математической модели по выбросу оксида азота с ОГ дизеля и неадекватность модели по выбросу оксида и диоксида углерода.

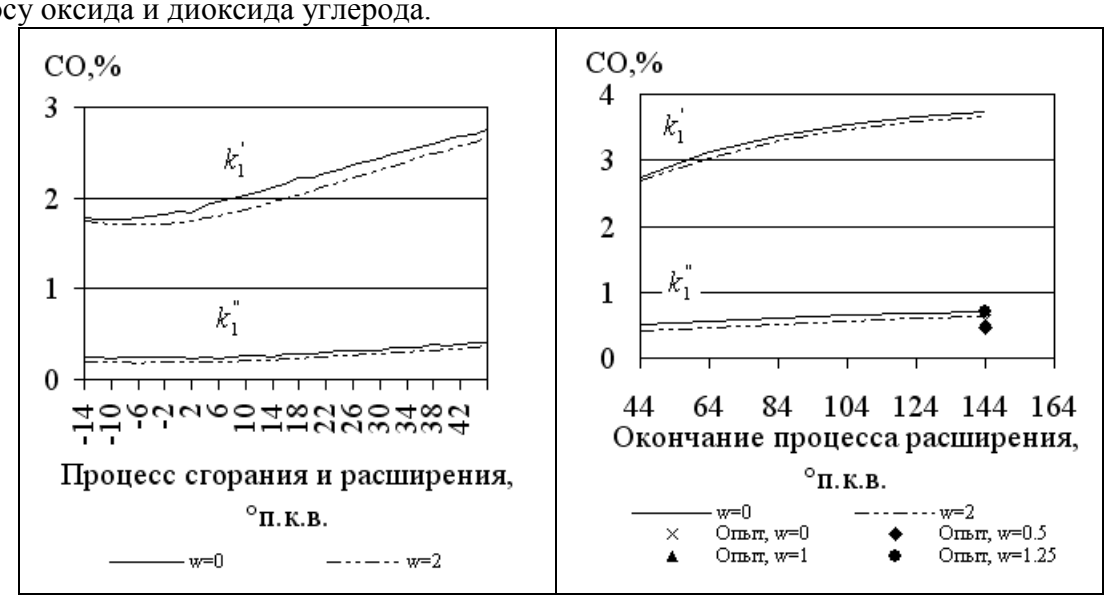


Рис. 1- Теоретические и экспериментальные данные содержания оксида углерода в ОГ дизеля при впрыскивании воды

Для повышения адекватности модели были проведены теоретические исследования, которые показывают, что наибольшее влияние на изменение содержания CO и CO_2 оказывает химическая реакция $2 \cdot CO + O_2 \leftrightarrow 2 \cdot CO_2$. В математической модели для этой реакции была использована константа равновесия $k_1' = \frac{29791}{T} + 0{,}000169 \cdot T - \frac{32400}{T^2} - 9{,}495$ [5]. В результате расчет с этой константой приводит к завышенным значениям по выбросу CO и заниженным значениям по выбросу CO_2 в сравнении с экспериментальными данными (рис.1, рис.2). По оси абсцисс в графиках на рис.1 и рис.2 показана хронология процесса сгорания и расширения в градусах поворота коленчатого вала двигателя (°п.к.в.), а $w=G_{вод}/G_т$ – отношение массы воды к массе топлива, используемой в расчете.

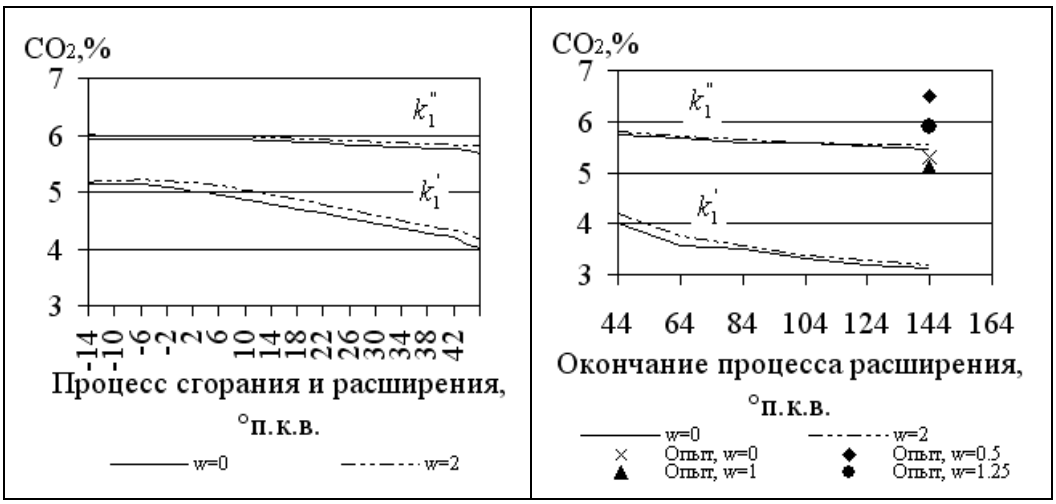


Рис. 2- Теоретические и экспериментальные данные содержания диоксида углерода в ОГ дизеля при впрыскивании воды

Принимая, с учетом погрешностей измерений, экспериментальные данные за истинные, можно предложить протекание теоретических кривых с использованием другой константы k_1'' (рис.1, рис.2). Для нахождения аппроксимационного уравнения k_1'' был использована логарифмическая функция константы k_1' (рис.3). С учетом полученных экспериментальных данных по выбросу CO и CO_2, а также проведенных теоретических расчетов, следует, что функция $\ln k_1''$ должна находится выше функции $\ln k_1'$. Методом наименьших квадратов [4], было получено аппроксимационное уравнение $\ln k_1'' = 6{,}07 + \frac{1536}{T}$, откуда $k_1'' = 432{,}7 \cdot e^{\frac{1536}{T}}$.

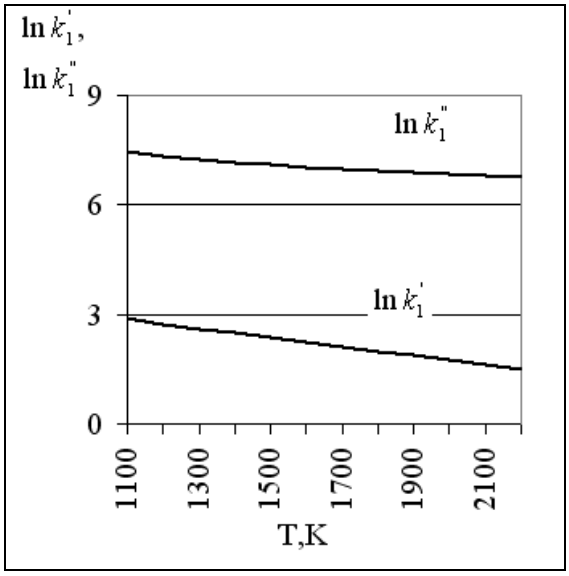


Рис. 3- Изменение логарифмов констант от температуры реакции

Таким образом, использование уточненной константы равновесия $k_1'' = 432{,}7 \cdot e^{\frac{1536}{T}}$ химической реакции $2 \cdot CO + O_2 \leftrightarrow 2 \cdot CO_2$ в расчете равновесного состава продуктов сгорания дизеля с впрыском воды в воздухозаборный трубопровод приводит к повышению адекватности математической модели по выбросу оксида и диоксида углерода на номинальном режиме.

Список литературы

1. *Вибе И.И.* Новое о рабочем цикле двигателей. Скорость сгорания и рабочий цикл двигателя. - М.: Машгиз, 1962. - 271 с.
2. Двигатели внутреннего сгорания: Теория поршневых и комбинированных двигателей./ Под ред. А.С. Орлина, М.Г. Круглова.- 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1983.- 372 с.
3. *Звонов В.А.* Токсичность двигателей внутреннего сгорания. - 2-е изд., перераб. - М.: Машиностроение, 1981. - 160 с.
4. *Зельдович Я.Б., Мышкис А.Д.* Элементы прикладной математики. – 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Наука, 1972. - 592 с.
5. Краткий справочник физико-химических величин. Издание девятое / Под. ред. А.А. Равделя, А.М. Пономаревой. - СПб.: Специальная литература, 1998. - 232 с.
6. *Марков В.А., Шлено М.И., Фурман В.В.* Оценка расхода топлива и токсичности отработавших газов дизеля на различных режимах // Грузовик. - 2006. - №2. - с.40-49.
7. Моделирование рабочих процессов двигателей внутреннего сгорания на ЭВМ / Куценко А.С. - Киев: Наукова думка, 1988. - 104 с.
8. Расчет и конструирование автомобильных и тракторных двигателей (дипломное проектирование): Учеб. пособие для вузов / Б.Е. Железко, В.М. Адамов, И.К. Русецкий, Г.Я. Якубенко. - Мн.: Высшая школа, 1987.-247 с.
9. *Хлюпин В.Б.* Стенд для исследования показателей дизеля при впрыскивании воды // Проблемы и перспективы развития авиации, наземного транспорта и энергетики «АНТЭ -07»: Материалы международ. научн.-тех. конф. (Казань, 11-12 дек. 2007.). - Казань, 2007. - с.191-194.

05.23.05

[1]В.И. Зубкова, [1]С.Ф. Коренькова, [2]Н.И. Малявский

[1]Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Самарский государственный архитектурно-строительный университет»

[2]Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Московский государственный строительный университет»

ПРИРОДНОЕ И ТЕХНОГЕННОЕ НАНОСЫРЬЕ В ПРОИЗВОДСТВЕ СМЕШАННЫХ ВЯЖУЩИХ

Приведены доказательства принадлежности шлама щелочного травления алюминия к нанотехногенному сырью. Обоснована целесообразность применения его в качестве активатора твердения смешанных вяжущих на основе природного сырья, в частности, известково-кремнеземистых вяжущих.

Ключевые слова: *смешанные вяжущие, активация, алюмощелочные шламы.*

В России на промышленных предприятиях образуются многотоннажные (возобновляемые) отходы, пригодные как основное сырье, корректирующие компоненты, наполнители, активаторы и стабилизаторы при изготовлении материалов общестроительного и специального назначения для малоэтажного и коттеджного строительства. Известно, что затраты на внедрение энергосберегающих мероприятий в 3-5 раз меньше затрат на добычу и производство первичных энергоисточников. [3].

В общем объеме производства строительных материалов значительную долю составляют смешанные вяжущие. Твердение смешанных вяжущих веществ происходит в результате химического взаимодействия активных минеральных добавок с известью и образованием малорастворимых в воде гидросиликатов, гидроалюминатов и гидроферритов кальция. [1].

В настоящей работе рассмотрено техногенное сырье, полученное осаждением твердых частиц из пересыщенных водных растворов в результате сложных физико-химических и механических процессов очистки сточных вод на предприятиях металлургии и металлообработки. В результате формируется дисперсная гетерогенная система – шлам, что соответствует технологии получения наноматериала методом «золь-гель» с последующим образованием полимерных соединений. К такому виду сырья относится алюмощелочной шлам, образующийся на Самарском металлургическом заводе в процессе обработки алюминия и его сплавов концентрированным раствором едкого натра [8]. Быстрое осаждение гидроксида алюминия из сильно пересыщенного раствора (сточная вода) вызывает образование осадка в активной форме и наличия в нем значительного количества дефектов. Алюмощелочные шламы, содержащие нестабильные формы гидроксидов алюминия, способны к самоотверждению. Наиболее реакционноспособной частью свежеосажденного шлама является гидроксогруппы, связанные с атомами алюминия.[4]. Химический состав алюмощелочного шлама Самарского металлургического завода приведен в таблице 1.

Таблица. 1 - Химический состав алюмощелочного шлама (ОАО Алкоа СМЗ, г. Самара)

Содержание компонентов в шламе, масс %								pH
П.П.П.	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	R_2O	
35,31	0	44,1	1,6	1,4	6,6	0,58	10,73	12,5

Согласно результатам исследований, выполненным в Санкт-Петербургском Радиотехническом институте, частицы шлама имеют размер от 10 до 60 нм. Таким образом, шлам относится к неупорядоченным наноструктурированным материалам с собственной физико-химической активностью [2].

Чем меньше наночастица, тем сильнее изменение ее химических и физических свойств, по сравнению с макрочастицами того же вещества. Применение в качестве активатора шламов, способствует увеличению адгезионной прочности и, в целом, формированию более прочных и долговечных композиционных материалов [5-6].

По своим физическим свойствам шламы занимают промежуточное положение между твердыми и жидкими телами. Они обладают свойствами полутвердого тела (плотность 1,1-1,3). Результатом структурирования шламов является комплекс физико-механических свойств: упругость, пластичность, вязкость [5-6]. При помощи ранее разработанной компьютерной программы [9] была рассчитана фрактальная размерность алюмощелочного шлама, равная 2,8079.

Для комплексной оценки шлама были использованы дифференциальный термический (ДТА) и рентгенофазовый анализ (РФА), с помощью которых был установлен минералогический состав, а так же определены процессы, превращения адсорбционно и химически связанной воды.

Согласно результатам РФА (рис. 1), в шламе фиксируется наличие следующих кристаллических фаз: кальцит $CaCO_3$; известь $Ca(OH)_2$; брусит $Mg(OH)_2$; магнезит $MgCO_3$; гипс $CaSO_4 \cdot 2H_2O$; корунд Al_2O_3; оксид железа Fe_2O_3; гидраргиллит (гиббсит) $Al_2O_3 \cdot 3H_2O$.

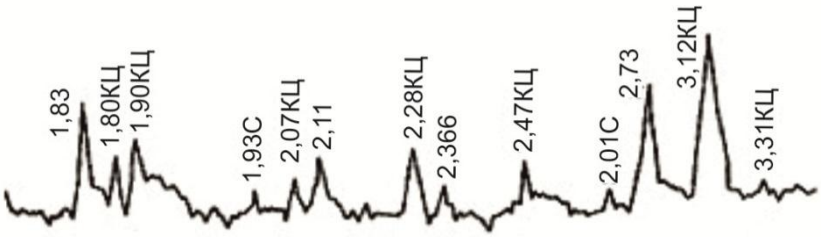


Рис. 1 - Рентгенограмма алюмощелочного шлама
Условные обозначения: КЦ - кальцит $CaCO_3$; Б - брусит $Mg(OH)_2$;
Г - гипс $CaS0_4$ $2H_20$; С - гидратированная известь $Ca(OH)_2$; кв - кварц

Установленные наноразмерность и высокая поверхностная активность позволяют применять алюмощелочной шлам в смешанных вяжущих в качестве активатора физико-химических процессов твердения (10...20% от массы песка). Для приготовления смешанных вяжущих использован песок природного происхождения с модулем крупности 0,7-0,86. В составе песка содержатся заметные количества $A1_2O_3$ и Fe_2O_3, что свидетельствует о значительной примеси глины (таблица 2).

Таблица 2 - Химический состав песка Михайловского месторождения.

ппп	SiO_2	$A1_2O_3$	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	R_2O	∑
3,6	80,08	6,51	2,4	3,46	0,32	1,13	2,06	99,56

В качестве второго компонента вяжущего использована кальциевая известь активностью 85 мг CaO/г.

Процесс твердения смешанного бесклинкерного вяжущего включает растворение, конденсацию и коллоидацию. Растворение можно рассматривать как процесс деполимеризации, осуществляемый посредством гидролиза, катализатором которого является – щелочной раствор на основе шлама. В результате растворения кремнезема образуются пересыщенные растворы кремнекислородного мономера, которые, будучи

термодинамически нестабильными, подвергаются конденсационной полимеризации. Дальнейшая внутренняя конденсация объемных полимерных структур сопровождается перестройкой до более плотного состояния и приводит к образованию первичных коллоидных частиц[1]. Обработка песка щелочным шламом травления алюминия, способствует активизации процессов твердения и полимеризации смешанных вяжущих. [7]. Реакция взаимодействия щелочи с кремнеземом кварцевого песка происходит на начальной стадии твердения вяжущего и способствует повышению его активности. Система R_2O-Al_2O_3-SiO_2-H_2O проявляет гидравлические свойства, которые усиливаются в результате присутствия в составе катионов алюминия, способных связывать гидрозоль кремниевой кислоты. Оптимальные условия для синтеза прочного камня со стабильными физико-механическими свойствами создаются при наличии в составе продуктов гидратации гелевидной фазы, армированной гидросиликатами кальция ($CaO*SiO_2*aq$) и щелочными гидроалюмосиликатами (например, $Na_2O*Al_2O_3*2SiO_2*H_2O$) [1].

Щелочная обработка песчано-глинистой смеси позволила повысить прочность продукта твердения до 20 МПа, т.е. получить вяжущее, пригодное для приготовления строительных растворов и низкомарочных бетонов, активированных наполнителей для малоэтажного строительства.

Список литературы

1. *Бутт Ю.М., Сычев М.М., Тимашев В.В.* «Химическая технология вяжущих материалов». // Учебник для вузов. Под редакцией Тимашева В.В. – М: Высшая школа, 1980 – 472с., ил. Глава 1.2

2. *Гурьянов А.М., Коренькова С.Ф., Лебедев В.Т., Лебедев В.М.* Исследование нанодисперсных модификаторов свойств бетонов методом малоуглового рассеяния нейтронов / - Ренгеновское, синхротронное излучение, нейтроны, и электроны для исследования наносистем и материалов // Материалы 8-й международной конференции. – М.: ИК РАН-РНЦ КИ, 2009.- С. 317.

3. *Денисов Г.А..* Техногенные отходы – энергетические консервы для отрасли строительных материалов.// // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. - 2004. - N 9. - С. 56-58 .

4. *Коренькова С.Ф., Ермилова Ю.А.* «Структурообразование наполненных цементов» 5 академические чтения РААСН.

5. *Коренькова С.Ф., Ермилова Ю.А.* Теоретическое обоснование клеящих свойств минеральных шламов // Строительные материалы. - 1998. - №8. - С. 6-7.

6. *Коренькова С.Ф., Ермилова Ю.А.* Роль связанной воды в структуре шлама // Современные технологии строительного производства и систем транспортирования газа. - 1998. - Вып. 5. – (Изд-во) С. 150-157.

7. *Коренькова С.Ф., Зубкова В.И.* Активированные смешанные вяжущие общестроительного назначения // Строительство: новые технологии – новое оборудование, 2012, №3, Москва, ИД «Панорама» - 60с.

8. *Коренькова С.Ф., Шеина Т.В.,* Основы и концепция утилизации химических осадков промстоков в стройиндустрии // СамГАСУ Самара, 2004, 203с.

9. *Коренькова С.Ф., Якушин И.В., Зимина В.Г..* Фрактальное моделирование свойств шламовых отходов. // Башкирский химический журнал, 2007. Т. 14. № 4. С. 114-119.

05.11.14

А.В. Иванов, А.С. Пахомов

ФГУП ГНПРКЦ «ЦСКБ - Прогресс»,
г. Самара, csdb@samspace.ru

РЕНГЕНОВСКИЙ МИКРОСТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ ПАЯНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ОЛОВЯННО - СВИНЦОВЫХ BGA – КОМПОНЕНТОВ, МОНТИРОВАННЫХ ПРИПОЕМ ОЛОВО – СВИНЕЦ

Несмотря на то, что технология BGA стала массовой, до сих пор остаются некоторые проблемы. Это организационные и технические вопросы, которые необходимо решить. Очень важно обеспечить правильное формирование паяного соединения, чтобы предотвратить такие дефекты, как непропаи и добиться высокого уровня надежности.

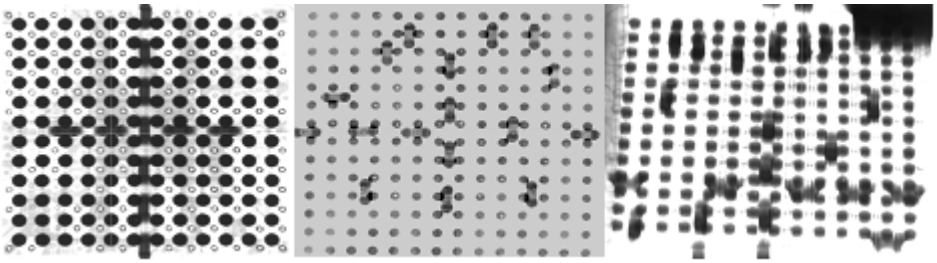
Ключевые слова: *паяные соединения, печатная плата, контактная площадка, шариковый вывод, интерметаллидный слой, рентгенконтроль.*

Продуктом проведения монтажа ЭРИ на печатную плату являются паяные соединения. Паяное соединение обеспечивает механическое крепление и электрический контакт компонента с печатной платой. Соответственно, параметрами, характеризующими эти свойства, оценивается надежность паяных соединений. Отработанная технология традиционной пайки позволяет получить свинецсодержащие паяные соединения высокого качества, и накопленные многолетним опытом применения статистические данные подтверждают их надежность[1]. Во время внедрения технологии поверхностного монтажа на нашем предприятии технологической службой, были детально изучены и исследованы процессы пайки с использованием оловянно-свинцового припоя. В процессе внедрения в производство технологии поверхностного монтажа производилось изготовление микрошлифов и рентгеноструктурный анализ паяных соединений, образованных оловянно-свинцовым припоем. В качестве исследуемых образцов использовались имитаторы (пустышки) BGA-компонентов фирмы TopLine, представленные в таблице 1.

Таблица 1. Исследуемые паяные соединения.

№ Компонента	Тип корпуса	Покрытие
DD14	BGA144	SnPb
DD23	BGA196	SnPb
DD24	BGA196	SnPb

Анализ качества паяных соединений полученных по технологии поверхностного монтажа осуществлялся: визуально с использованием микроскопа; с использованием оптической установки обеспечивающей, оценку качества монтажа внешних выводов BGA с увеличением не менее чем в 25 крат; рентгенконтроль с использованием рентгеновской установки pcba/analyser, для детального анализа качества паяных соединений BGA- компонентов.



а) б) в)

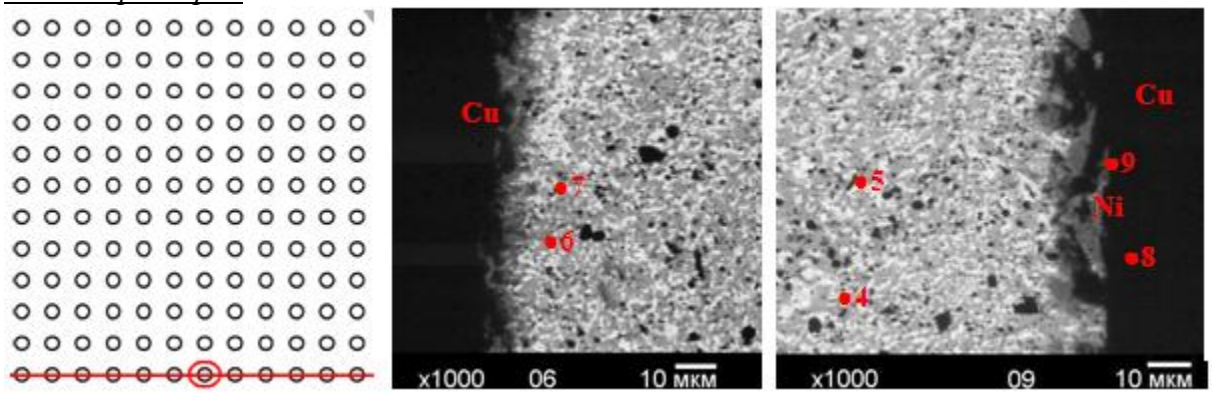
Рисунок 1. Рентгеноконтроль микросхем
а) - микросхема DD14; б) - микросхемы DD23; в) - микросхемы DD24

При рентгеноконтроле на всех микросхемах ни перемыканий шариковых выводов ни мест непропая не обнаружено, наблюдаются не значительные воздушные полости.

После рентгенконтроля микросхемы были отправлены на предприетие ОАО «Авангард» для проведения рентгеновского микроструктурного анализа паяных соединений. Определение элементного состава образцов проводилось методом электронно-зондового микро анализа, который основан на сравнении характеристических рентгеновских спектров анализируемого образца и стандартов известного состава.

Чувствительность метода составляет ~ 0.1 вес. %. Неанализируемые элементы: H, Li, Be, B, C, N, F, O. При локальном анализе размер области возбуждения характеристического рентгеновского излучения превышает размер области неупругого рассеяния электронов первичного пучка и может быть оценен формулой: $R \approx 0.07 \cdot (E_0^{1.5} - E_c^{1.5})/\rho$, определяющей, по сути локальное разрешение метода R [мкм], где: E_0 [кэВ] – энергия электронов в пучке, E_c [кэВ] – критическая энергия возбуждения соответствующей рентгеновской серии, ρ [г/см^3] плотность материала в области возбуждения. Это необходимо иметь ввиду при интерпретации данных [2] локального РМА вблизи фазовых границ или на включениях с d~R. Так при идентификации Ni-покрытия на меди R ≈ 1.5 мкм, а для Au-покрытия R~0.7 мкм.

DD14 первый ряд



Нижняя граница ПС Верхняя граница ПС

Рисунок 2. Микросхема DD14 первый ряд, 7 шариковый вывод

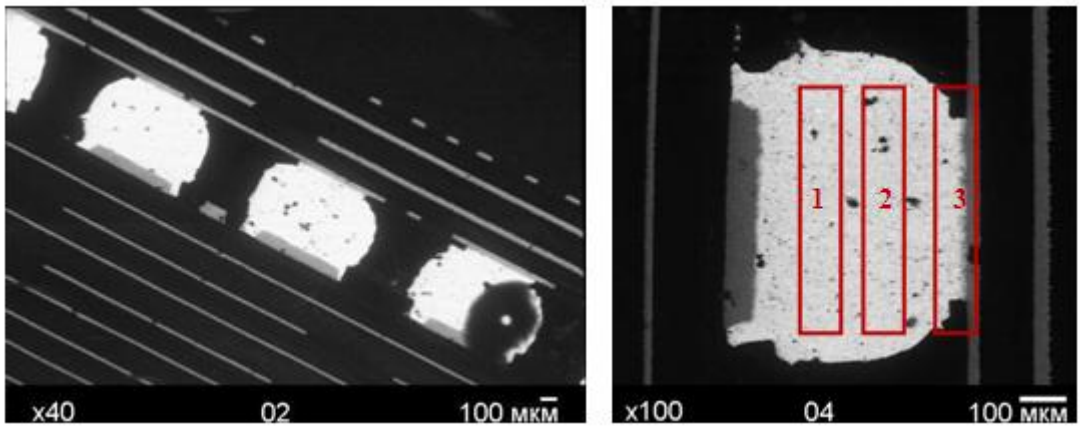


Рисунок 3. Микросхема DD14 первый ряд, 6-8 шариковые выводы, 7 шариковый вывод

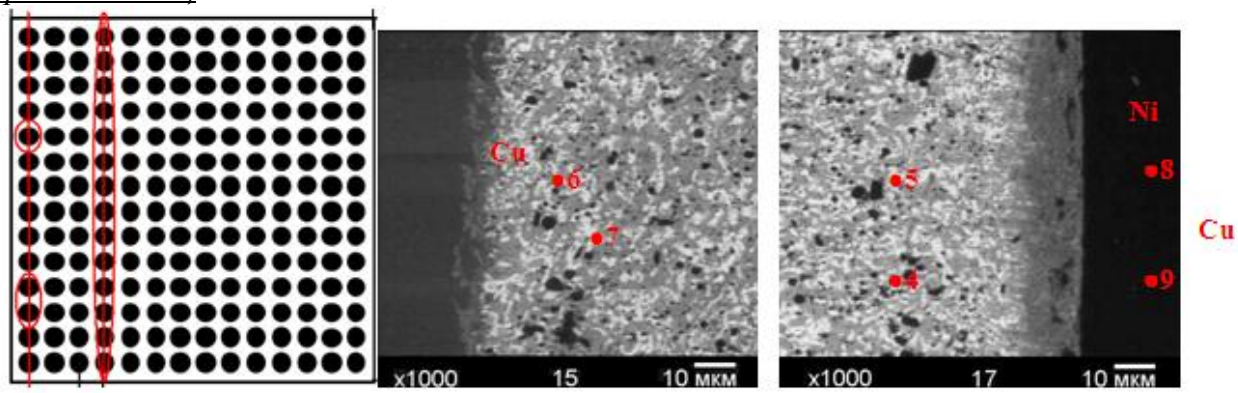
Таблица 2. Химический состав микросхемы DD14 первый ряд, 6-8 шариковые выводы, 7 шариковый вывод.

Уч.	Ni	Cu	Sn	Pb
1	-	0.5	62.5	35.9
2	-	0.3	62.7	37.0
3	-	0.5	65.0	34.5
4	-	-	29.0	71.0
5	-	-	96.5	3.5
6	-	6.1	40.9	52.8
7	-	19.7	62.6	17.6
8	91.2	1.7	5.8	1.2
9	90.2	1.8	6.3	1.3

На нижней границе паяного соединения присутствует слой интерметаллидов олово-медь шириной порядка 5-8 мкм.

На верхней границе паяного соединения наблюдается практически полное растворение барьерного подслоя никеля в припое шарикового вывода в результате чего припой так же начинает взаимодействие с медной контактной площадкой компонента. Размеры интерметаллидов олово-никель [2] и олово-медь достигают до 8 мкм.

DD23 первый столбец



Нижняя граница ПС Верхняя граница ПС

Рисунок 4. Микросхема DD23 первый столбец, 5 шариковый вывод

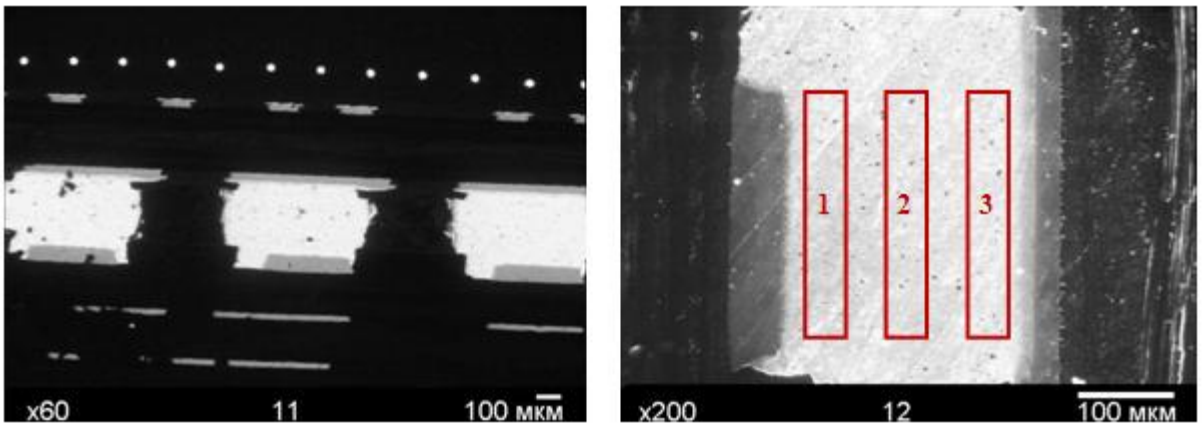


Рисунок 5. Микросхема DD23 первый столбец, 4-6 шариковые выводы, 5 шариковый вывод

На снимках с увеличением x60 и x200 наблюдается «размазывания» контура мягкого шарикового вывода в процессе шлифования абразивом.

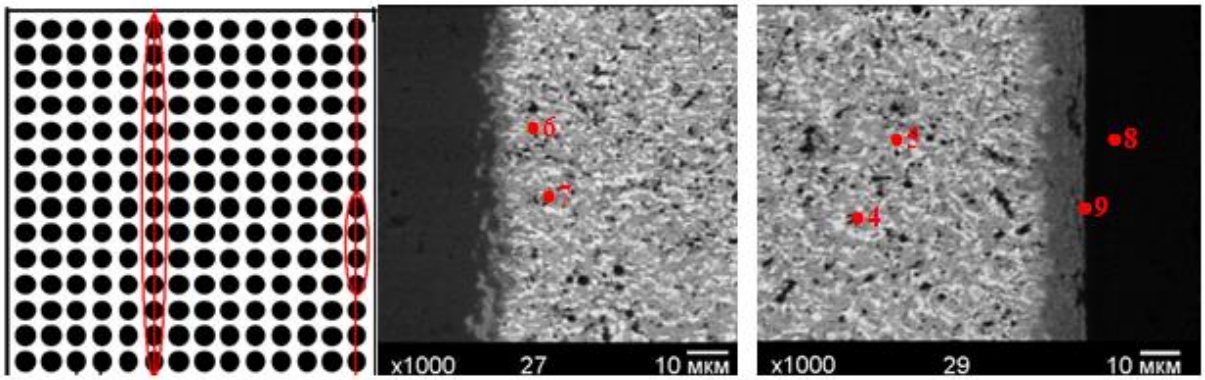
Таблица 3. Химический состав микросхемы DD23 первый столбец, 4-6 шариковые выводы, 5 шариковый вывод.

Участок	Ni	Cu	Sn	Pb
1	-	0.4	63.1	35.6
2	-	0.4	62.9	36.3
3	-	0.4	64.2	34.3
4	-	-	15.0	85.0
5	-	-	91.9	8.1
6	-	39.5	54.6	5.0
7	-	2.9	92.3	4.8
8	96.9	1.1	1.9	-
9	14.0	20.2	61.7	3.3

На нижней границе паяного соединения присутствует слой интерметаллидов олово-медь шириной 4-6 мкм.

На верхней границе наблюдаются зоны образования интерметаллидов олово-никель размерами порядка 2-3 мкм.

DD24 тринадцатый столбец



Нижняя граница ПС Верхняя граница ПС

Рисунок 6. Микросхема DD24 тринадцатый столбец, 9 шариковый вывод

Таблица 4. Химический состав микросхемы DD24 тринадцатый столбец, 9 шариковый вывод.

Участок	Ni	Cu	Sn	Pb
4	-	0.2	59.0	40.8
5	-	0.0	76.1	23.9
6	-	18.5	70.9	10.7
7	-	1.7	54.8	43.4
8	96.5	3.0	0.3*	-
9	81.9	3.1	13.8	1.3

На нижней границе паяного соединения присутствует слой интерметаллидов олово-медь шириной порядка 6-8 мкм. На верхней границе наблюдаются зоны образования интерметаллидов олово-никель размерами порядка 4 мкм.

По результатам рентгеновского микроструктурного анализа (РМА) можно сделать следующие выводы:

1. Толщина интерметаллидного слоя в ПС BGA компонентов внутренних рядов меньше чем в ПС внешних рядов, что является следствием меньшего температурно- временного воздействия оказываемого при пайке на внутренние ряды.

2. Толщина интерметаллидного слоя составляет в среднем 4-5 мкм и достигает в шариковых выводах внешних рядов до 8 мкм.

3. Имеет место механическое и тепловое повреждение внутреннего никелевого подслойного покрытия КП компонента, вероятно вызванное ручной операцией очистки контактных площадок в процессе реболлинга.

4. В целом паяные соединения BGA-компонентов, имеющие поверхностную бугристость, неровность, не сферическую форму не имеют микротрещин и элементов разрушения как внутри шарикового вывода так и в переходных зонах: КП печатной платы – шариковый вывод, шариковый вывод – КП микросхемы; припой полностью и равномерно перемешан, что отвечает требованиям предьявляемым к паяным соединениям.

Список литературы

1. IPC 7095B, Международный стандарт: «Проектирование и внедрение процессов сборки с применением BGA».
2. ОАО «Авангард», Отчет о металлографических исследованиях микрошлифов структур паяных соединений электронного модуля, Санкт-Петербург, 2011, С.1-14.

05.02.08

Т.Н. Иванова к.т.н., П.А. Коробейников

Чайковский филиал Пермского национального исследовательского
политехнического университета,
кафедра автоматизации, информационных и инженерных технологий,
Ижевск, rsg078829@mail.ru

ВЛИЯНИЕ СМАЗОЧНОГО ЭФФЕКТА СОЖ НА АЛМАЗНУЮ ОБРАБОТКУ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ТРУДНООБРАБАТЫВАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ

Рациональное использование смазочно-охлаждающей технологической жидкости позволяет уменьшить силы трения и тепловыделение, интенсифицировать отвод тепла, обеспечить удаление стружки и отходов шлифования из зоны резания, уменьшить затупление, засаливание, износ шлифовального круга.

Ключевые слова: *шлифование, смазочно-охлаждающая жидкость, алмазный шлифовальный круг.*

Эффективность процесса шлифования, интенсивность изнашивания абразивного инструмента, качество обработанной поверхности и другие характеристики, сопровождающие процесс шлифования, зависят от свойств внешней среды, в которой происходит резание. Принудительное изменение свойств этой среды – один из путей управления и оптимизации процесса шлифования. Путем рационального использования смазочно-охлаждающей технологической жидкости (СОЖ) можно значительно уменьшить силы трения и тепловыделение в контакте шлифовальный круг – обрабатываемая деталь, интенсифицировать отвод тепла, обеспечить удаление стружки и отходов шлифования из зоны резания, уменьшить затупление, засаливание и износ шлифовального круга, что повышает его работоспособность, увеличивает производительность обработки и улучшает качество обрабатываемых деталей.

В общем случае СОЖ является сложной гетерогенной системой, в которой можно выделить основную (базовую, дисперсионную) и дисперсную (компоненты, присадки, добавки) фазы [1].

Смазочное действие СОЖ проявляется в том, что жидкость, попадая в зону контакта, образует на контактных поверхностях трущейся пары алмаз – обрабатываемый материал хемосорбированные и адсорбированные атомы и молекулы внешней среды, пленки химических соединений алмаза и обрабатываемого материала с компонентами среды, слои твердых растворов атомов среды в кристаллической решетке обрабатываемого и инструментального материала.

Из компонентов внешней среды в смазочном эффекте наиболее значительна роль кислорода, влияние которого неоднозначно. При ограниченном доступе кислорода в контактную зону возникают только хемосорбированные и адсорбированные слои кислорода или относительно тонкие пленки первоокислов и окислов, весьма прочно связанных с металлической поверхностью, – коэффициент трения резко падает, а износ поверхностей уменьшается. При неограниченном доступе кислорода в зону контакта образуются толстые пленки химически индивидуализированных высших непрочных окислов, в результате чего коэффициент трения вновь возрастает (но остается меньшим, чем при контакте ювенильных поверхностей), а износ увеличивается. Значительное уменьшение содержания кислорода, особенно атомарного, в среде сильно затрудняет осуществление процесса шлифования, так как при этом резко усиливаются явления адгезии (схватывание) контактирующихся пар.

Смазочный эффект возрастает при распылении увлажненного воздуха и особенно при распылении воды, так как при этом активируется действие кислорода.

Усиливают действие кислорода минеральные масла, прежде всего потому, что они поставляют кислород в зону трения и некоторые углеводороды, входящие в состав минеральных масел. Распыление масел позволяет активизировать процессы образования продуктов их окисления, легко отдающих атомарный кислород металлической поверхности. При шлифовании с высокими скоростями происходит термическое разложение углеводородов с образованием смеси непредельных углеводородов, склонных к интенсивным окислительно-восстановительным реакциям с образованием пленок окислов на металлических поверхностях. Роль кислотосодержащих соединений возрастает по мере увеличения скорости резания. Смазочный эффект поверхностноактивных и углеводородных СОЖ в значительной мере обусловлен наличием кислорода.

Таким образом, кислород и влага, с одной стороны, и искусственно вводимые в зону резания СОЖ, содержащие поверхностно-активные и масляные компоненты, с другой, способствуют усилению действия один другого: масляная фаза выступает как катализатор окисления поверхности, а образующиеся пленки окислов способствуют возникновению адсорбционных, хемосорбционных и химических пленок, являющихся продуктами взаимодействия компонентов СОЖ с окисленной металлической поверхностью. Следовательно, при применении масла и масляных эмульсий в качестве смазок большое значение имеют три фактора: окислительная активность газовой среды и наличие в ней влаги; окисляемость углеводородов; условия переноса молекулярного кислорода к зонам трения. Вместе с тем следует иметь в виду, что при высокой температуре в результате каталитической способности кислорода влаги разрушать алмазные связи, на поверхности зерен ускоряется переход алмаза в графит [1].

Сверхтвердые материалы (алмазы, кубонит, эльбор) обладают высокой способностью удерживать на своей поверхности хемосорбированные и адсорбированные слои кислорода. Этим объясняется тот факт, например, что в обычных условиях наблюдаются очень низкие (≈ 0,05) коэффициенты внешнего трения алмаза по железу, несмотря на высокую активность его к углероду. Поэтому основное назначение СОЖ при шлифовании кругами из сверхтвердых материалов заключается в том, чтобы обеспечить восстановление хемосорбированных слоев кислорода на трущихся поверхностях обоих контртел или хотя бы одного из них, т.е. на инструменте или стружке и на обрабатываемой поверхности.

Силы трения, возникающие на поверхности контакта алмаза и обрабатываемого материала, существенно отличаются от сил трения для пары металл – металл [1]. Формирование общей силы трения обусловлено составляющими, вызванными возникновением чисто механических связей в результате взаимодействия макро-, микро- и субмикрошероховатостей контактирующих поверхностей, возникновением связей диффузионного происхождения, и составляющей, вызванной адгезией. Таким образом, общая сила трения представляет собой сумму механической, диффузионной и адгезионной составляющих:

$$F_{тр} = F_М + F_Д + F_А \qquad (1)$$

Природные и синтетические алмазы обладают уникальными механическими и физическими свойствами. Алмазы, прежде всего, имеют самую высокую механическую твердость, большой модуль упругости, малую пластичность. Они обладают анизотропией свойств в зависимости от кристаллографического направления и способностью адсорбировать на своих поверхностях весьма прочные и тонкие пленки, что оказывает большое влияние на процессы внешнего трения алмазов. Малые коэффициенты трения объясняются тем, что составляющая $F_М$ при трении алмаза по металлу сводится к минимальным значениям при шероховатости R_a = 0,04 ÷ 0,02. Диффузионная составляющая $F_Д$ происхождение, которой связано с процессом схватывания контактируемых пар, в данном случае также практически не проявляется. Формирование силы трения ограничивается только проявлением адгезионной составляющей $F_А$.

При увеличении давления и температуры в зоне контакта коэффициент трения возрастает. Это обстоятельство свидетельствует о большой роли процесса адсорбции и хемосорбции кислорода на рабочих поверхностях алмазов.

Наличие и сохранение прочных адсорбированных пленок (главным образом химического происхождения), разделяющих поверхности контакта алмаз – обрабатываемый материал обеспечивает эффективность применения алмазного инструмента. При этом не обязательно, чтобы разделяющие пленки были закреплены только на поверхности алмаза. Хемосорбированные пленки окислов могут эффективно предохранять от схватывания и при наличии их на поверхности обрабатываемого материала. Образование хемосорбированной пленки не оказывает существенного влияния на коэффициент трения алмаза по металлу. Физическая адсорбция ПАВ (олеиновой кислоты, которая усиливает адсорбцию и препятствует хемосорбции кислорода) при наличии хемосорбированной пленки окислов не оказывает существенного влияния на коэффициент трения. Снижение коэффициента трения может происходить за счет лучшего смазывающего действия вазелинового масла, содержащего добавку олеиновой кислоты, по сравнению с чистым вазелиновым маслом. Резкое увеличение коэффициента трения получается при введении в этот же состав смазки восстановителя, например бензойного ангидрида. Отсутствие условий для восстановления разрушенных при трении окисных пленок приводит к увеличению одной из составляющих общей силы трения – диффузионной $F_Д$.

Эффективное применение алмазного инструмента может также осуществляться при наличии слоев твердой смазки, препятствующей непосредственному контакту ювенильных поверхностей алмаз – металл, а также при малых скоростях резания и средних нагрузках, при которых сохраняются защитные адсорбированные пленки окислов на поверхностях рабочих граней алмазов. Применение алмазов может быть эффективным еще и в тех случаях, когда диффузия в паре трения алмаз – обрабатываемый материал отсутствует.

В процессе шлифования проявляются обе формы адсорбционного эффекта: пластифицирующее действие, вызванное снижением сил внешнего трения и обусловливающее в конечном итоге формирование поверхности высокого качества, и диспергирование, приводящее к повышению производительности шлифования.

Таким образом, образование в зоне шлифования защитных пленок в виде химических соединений препятствует непосредственному контакту между абразивными зернами и шлифуемым материалом и предохраняет их от диффузионных процессов, и главное при шлифовании жарочных сплавов от адгезии и химического соединения металла с абразивом. В результате можно в значительной степени уменьшить износ, затупление и засаливание шлифовального круга, повысить его работоспособность.

Список литературы

1. Смазочно-охлаждающие технологические средства для обработки металлов резанием / Под общей ред. С.Г. Энтелиса, Э.М. Берлинера. 2-е изд. М.: Машиностроение, 1995. 496 с.

05.02.08

А.М. Игнатова, В.Л. Попов, Б.Ю. Антонов, М.Н. Игнатов

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
механико-технологический факультет,
кафедра сварочного производства и технологии конструкционных материалов,
ОАО «Первоуральский завод горного оборудования»,
Пермь, ignatovaanna2007@rambler.ru

КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННОЙ МАЛОГАБАРИТНОЙ ДУГОВОЙ ПЕЧИ ДЛЯ ПЛАВКИ ПЕТРУРГИЧЕСКОГО СЫРЬЯ

В статье изложены материалы как была разработана, изготовлена и опробована опытно-промышленная малогабаритная дуговая печь для плавки петрургического сырья.

Ключевые слова: *Петрургия, каменное литье, силикатный расплав, доменный шлак, минеральное сырье, дуговая печь, плавление.*

Современные концепции переработки техногенного сырья металлургических и горно-обогатительных предприятий и карьерной мелочи месторождений минерального сырья, объединенных термином – петрургическое сырье, подразумевают их плавление. Для внедрения этих концепций в производство необходима отработка этих процессов опытно-экспериментальным путем. В виду этого для проведения опытно-исследовательских работ существует потребность в опытно-промышленных малогабаритных печах для проведения работ в рамках промышленных и исследовательских лабораторий [1]. Существующие дуговые плавильные установки предназначены для плавки металлов и не учитывают особенностей плавки петрургического сырья [2].

Целью настоящей работы является разработка, изготовление и опробование опытно-промышленной малогабаритной дуговой печи для плавки петрургического сырья.

Разработанная конструкция печи (аналог печи ДКПП-05 [3]) (рис. 1) предполагает следующие характеристики: режим работы – продолжительный, периодический, время одной плавки - 3 часа. Диаметр плавильного пространства 255 мм, а высота 800 мм. Электропечь представляет собой конструкцию с круглой (в плане) ванной, открытым сводом, и двумя электродами, один из которых подвижный, другой неподвижный, роль последнего выполняет подина печи. Тип электрода – графитированный, диаметр верхнего 100 мм, диаметр нижнего электрода соответствует диаметру плавильного пространства. Отверстий для разливки сплава находится над уровнем пода на высоте 100 мм. Кожух электропечи представляет собой сварную конструкцию из двух цилиндрических листовых деталей разного диаметра, образующих кожух, пространство между двумя цилиндрическими деталями, служит резервуаром для организации водного охлаждения [4]. Печь оборудована поворотным механизмом (рис. 2), который позволяет полностью сливать расплав. Перемещение электрода и наклон печи осуществляется вручную при соблюдение всех соответствующих мер безопасности. Для удаления отходящих газов и пыли смонтирован вытяжная вентиляция (рис. 3).

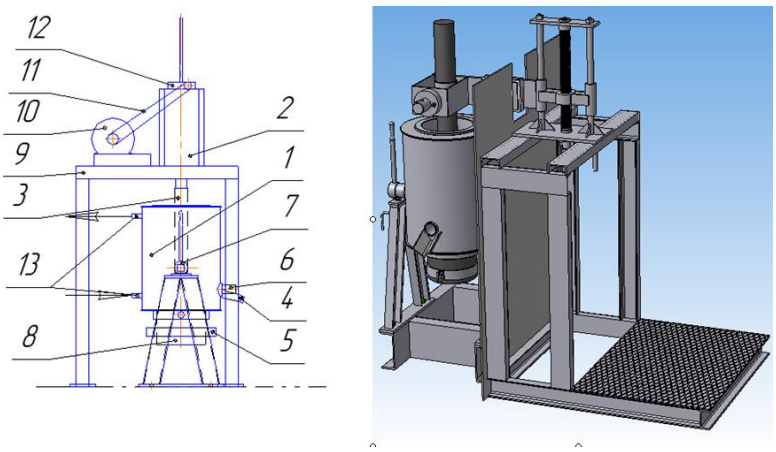


Рис. 1. Схема опытно-промышленной малогабаритной дуговой печи для плавки петрургического сырья: 1- корпус печи; 2- электрододержатель с системой подъёма и опускания электрода; 3- верхний электрод; 4- лётка; 5- медный токоподвод; 6-графитовая заглушка; 7- механизм наклона печи; 8- под печи (выполняет роль нижнего электрода); 9- станина электрододержателя; 10- электродвигатель; 11- ременная передача; 12- редуктор; 13- система водяного охлаждения

Она включает в себя центробежный вентилятор, воздуховод, вытяжной зонт, смонтированный над электрододержателями и вибропитателем. Печь сконструирована в соответствие с требованиями безопасности ГОСТ 12.2.007.09.

Работа печи осуществляется на токах 1250-1500 А промышленной частоты, с трансформатором, позволяющим производить дистанционное переключение ступеней напряжения, укомплектованном панелями с контрольными приборами и пультом управления (рис. 4). Трехфазный трансформатор устанавливается в специальном помещении. Рабочее напряжение, подаваемое на электрод составляет 65В, мощность 80-100 кВт.

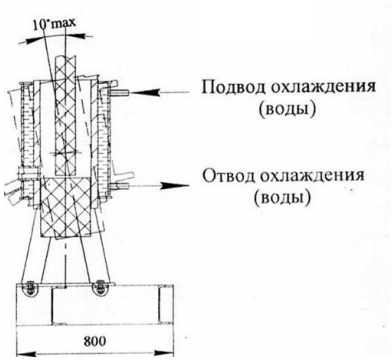


Рис. 2 Наклонное положение печи и схема водного охлаждения

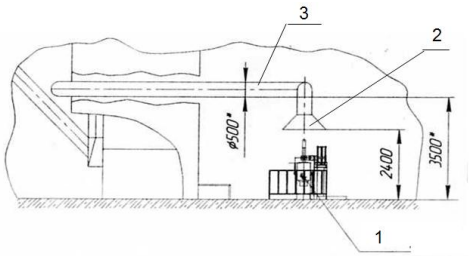


Рис. 3. Схема припечной вентиляции: 1 – печь, 2 – вытяжной зонт, 3 - воздуховод

Таблица 1

Химический состав петрургических материалов опытных плавок

Петрургический материал	Оксидный состав, %										
	SiO_2	Al_2O_3	CaO	FeO	Fe_2O_3	MgO	MnO	K_2O+Na_2O	TiO_2	V_2O_5	П.п.п.
Габбро-диабазы Пермского края	37,0	13,0	8,3	5,8	8,9	10,8	-	1,7	0,1	-	13,4
Отходы обогащения Качканарского комбината	40,5	10,0	13,5	11,1	3,5	13,0	-	3,4	1,0	-	2,0
Доменный шлак, г. Чусовой	25,0	15,5	31,0	2,0	-	12,5	0,5	-	9,0	0,2	-

Конструкция печи вместе с соответствующими приводами и ограждениями имеет габаритные размеры 2600х2700х2000 мм (рис. 5).

Предложенная конструкция опытно-промышленной малогабаритной дуговой печи для плавки петрургического сырья была опробована на опытных плавках петрургического сырья (табл.1).

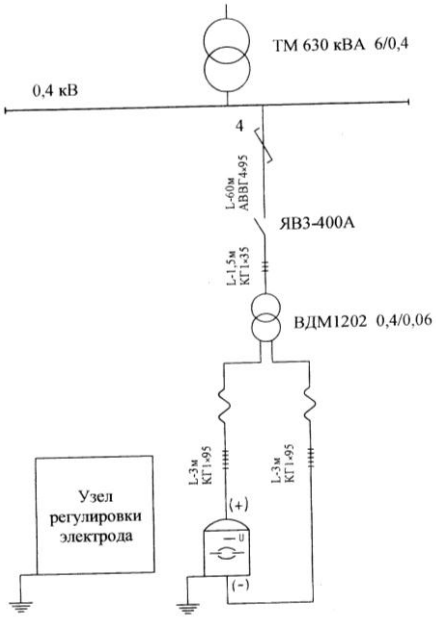


Рис. 4 Схема электрообеспечения печи (режим выпрямленного тока)

Рис. 5. Смонтированная опытно-промышленная малогабаритная дуговая печь для плавки петрургического сырья

Перед началом плавки дробленная сухая шихта, состоящая из кусков 5-10 мм поступает на весы, отсев наиболее мелких кусков не производился, так как наличие последних в шихте на интенсивность плавки в отрицательную сторону не влияет. Плавильное пространство открыто, свод отсутствует, шихту загружали сверху. Перед пуском печи на под загружались наиболее мелкие куски шихты, причем для сокращения времени работы на угольных электродах и времени получения необходимого количества расплава предпочтительно в начале плавки на шихту наложить угольный стержень (керн) диаметром 20 мм и длиной 130-150 мм, опустить угольный электрод и замкнуть ток через керн, затем несколько приподнять электрод, для создания дуги.

После расплавления некоторого количества материала производилась непрерывная загрузка шихты небольшими порциями, до образования «болотца» из расплава в зоне действия дуги. По накоплению достаточного количества жидкого расплава (30-40 мм в высоту) ток выключался и угольный стержень извлекался из расплавленной массы. После чего ток вновь включался и электрод опускался в расплав, процедура занимала 1-2 мин. С момента удаления из шихты-расплава керна и погружения электрода в расплав, бездуговой нагрев осуществлялся за счет сопротивления самой расплавленной массы. Работа на крене с момента пуска длилась от 40 мин до 1,5 часа (если это первый пуск печи этот процесс может занять и более длительное время).

Дальнейшая загрузка шихты производится периодически по мере расплавления предыдущей загрузки для поднятия уровня расплава После загрузки производится перегрев расплава. После выемки керна плавка длится 3- 4 часа в зависимости от свойств шихты.

Благодаря водяному охлаждению металлического корпуса печи в плавильном пространстве образуется гарнисаж из плавящегося материала, и дальнейшая плавка осуществляется в так называемом «каменном мешке», который препятствует прямому контакту расплава со внутренними стенками печи.

При работе печи камневар-оператор обязан постоянно следить за показаниями амперметров, своевременно производить подшихтовку, но не перегружать пространство между электродами и шихтой, в противном случае ток резко упадёт и процесс плавления прекратится, также может образоваться «шапка» вспененного расплава.

Готовность расплава оценивалась с помощью щупа, его опускали в расплав и затем извлекали, наблюдая насколько сильно расплав вытягивается в виде «нити» вслед за извлекаемым щупом, если она обрывалась через 15-20 мм, считалось что расплав готов. Также степень готовности может контролироваться термопарой. Силикатный расплав, после выпуска из плавильной печи, должен иметь температуру 1450-1500ºС. За время транспортировки температура понизится на 60-80ºС, и к началу разливки будет иметь температуру 1390-1420ºС.

Порядок отключения печи:

1. Отключить подачу электрического тока на электроды.
2. Включить механизм поднятия электрода.
3. Отключить систему охлаждения.
4. Пробить лётку и произвести разливку расплава. Процесс наклона печи осуществляется вручную рычагами наклона.
5. Снять верхний электрод.
6. Наклонить печь и произвести её подготовку к следующей плавке.

Таким образом, в результате проведенной работы была разработана, изготовлена и опробована опытно-промышленная малогабаритная дуговая печь для плавки петрургического сырья. Установлено, что опытно-промышленная малогабаритная дуговая печь для плавки петрургического сырья пригодна для проведения опытных плавок или производственного изготовления камнелитых отливок.

Список литературы

1. *Свенчанский А.Д., Смелянский М.Я.* Электрические промышленные печи. — М.: 1970.- 345 с.
2. *Игнатова А.М., Шешуков О.Ю., Игнатов М.Н.* Рециклинг текущего доменного шлака с помощью литейного модуля на площадках цехов шлакопереработки металлургических комплексов// Научно-технический вестник Поволжья. - №1, 2013. – с. 46-54.
3. *Игнатов М.Н., Шундиков Е.Н., Игнатова А.М., Шундиков Н.А., Николаев М.М.* Конструкция лабораторной малогабаритной электродуговой установки для плавки фторфлогопита «ДКПП-05». – Тезисы докладов юбилейной НТК «Современные организационные, технологические и конструкторские методы управления качеством». – Пермь: ПГТУ, 2006. – с. 135-137.
4. *Игнатова А.М., Чернов В.П.* Многотоннажная технология переработки металлургических шлаков и отходов горно-обогатительных комбинатов (ГОК) в литые силикатные материалы для различных сфер промышленности, промышленного, гражданского и дорожного строительства//Ползуновский альманах. - № 3 т. 2, 2009. – с. 129-131.

05.16.07

А.М. Игнатова, О.Ю. Шешуков, М.Н. Игнатов

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
механико-технологический факультет,
кафедра сварочного производства и технологии конструкционных материалов,
Институт Металлургии УрО РАН,
Пермь, ignatovaanna2007@rambler.ru

РЕЦИКЛИНГ ТЕКУЩЕГО ДОМЕННОГО ШЛАКА С ПОМОЩЬЮ ЛИТЕЙНОГО МОДУЛЯ НА ПЛОЩАДКАХ ЦЕХОВ ШЛАКОПЕРЕРАБОТКИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

В статье изложены основные принципы рециклинга текущих доменных шлаков по методу изготовления петургических материалов технологией каменного литья.

Ключевые слова: *Петургия, каменное литье, силикатный расплав, доменный шлак, рециклинг.*

Металлургическое производство сопровождается образованием значительного количества различных отходов, достигающих 30 % (по массе) от объема произведенного металла, около 80% из них составляют шлаки. На долю доменного шлака приходится свыше 70% от общего количества шлаков. На сегодняшний день общепризнано, что одним из направлений дальнейшего развития металлургической отрасли является совершенствование технологических процессов переработки образующихся шлаков, поскольку уровень совершенства этих технологий во многом определяет уровень энерго- и материалоемкости производства, а так же в значительной степени влияет на эколого-экономические показатели деятельности предприятия [1-3].

Вследствие неэффективного использования минерально-сырьевых и топливно-энергетических ресурсов их доля в себестоимости продукции российских металлургических предприятий существенно превышает уровень развитых стран, составляя 66,6-73,1%, в то время как в США она равна 60,1%, Германии – 60,9%, Японии – 53,8%, Франции – 61,7% [4]. В условиях постоянного роста стоимости сырья и энергии снижение их удельных расходов на единицу произведенной продукции является одной из важнейших проблем, стоящих в настоящее время перед российской металлургией.

Для информации и координирования исследований в области переработки и использования металлургических шлаков в разных странах и в разное время были созданы соответствующие организации [5], так в США - Национальная шлаковая ассоциация (1918г.), во Франции - Техническое общество (1956г.) в Англии - Британская федерация шлака, в Германии – союз по доменным шлакам (1954г.), в Венгрии — Институт строительства, в Чехии — Институт по обогащению руд, а в настоящее время в Европе - «Еврошлак». В России на сегодняшний день нет организации, занимающейся централизованным урегулированием вопросов шлакопереработки, однако, потребность в ее существовании очевидна.

Первым законодательным документом в области управления отходами является Директива Европейского Союза 75/442/ЕЭС от 15 июля 1975г., в которой впервые были сформулированы и законодательно закреплены принципы обращения с отходами - так называемая Иерархия управления отходами [6]. Иерархия представляет собой классификацию действий с отходами по степени их приоритетности и построена на следующих принципах:

1) предотвращение или снижение образования отходов;
2) разделение отходов у источника их образования;

3) вторичное использование отходов путем возврата в производственный процесс;

4) рециклинг - обработка отходов с целью получения из них новых видов сырья или продукции;

5) обезвреживание отходов с целью снижения их опасности для природной среды;

6) захоронение отходов - наименее предпочтительная альтернатива управления отходами.

Авторов настоящей работы более интересует приоритетность – рециклинг. В России и за рубежом рециклинг [7] доменного шлака осуществляется в основном двумя способами:

а) с применением шлаковозных ковшей и последующей переработкой за пределами доменного цеха;

б) без применения шлаковозных ковшей, когда переработка шлака осуществляется непосредственно у доменных печей (припечная обработка).

Большинство технологий рециклинга доменных шлаков зависит от того в каком агрегатном состоянии предполагается их обрабатывать – в жидком (новообразованном, текущие шлаки) или твердом (рис.1) [8].

Выбор наиболее подходящей технологии может быть проведен на основании двух критериев: технико-экономического и экологического [9].

Первый критерий представляет собой совокупность технико-экономических характеристик, рассматриваемых вариантов технологий обработки отходов и характеризуется следующими технико-экономическими показателями: годовые приведенные затраты на обработку отходов; затраты на транспортировку отходов к месту обработки; стоимость земельного участка, требующегося для строительства объекта по обработке.

Второй критерий - это совокупность экологических показателей, определяющих минимизацию воздействий на окружающую среду.

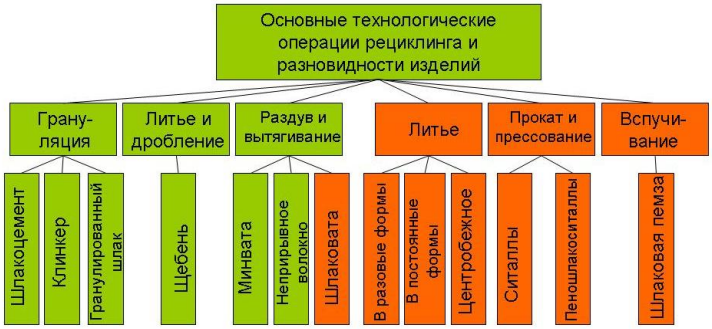


Рис. 1. Основные технологические операции рециклинга доменных шлаков и разновидности результирующей продукции

Такие методы (рис.1), как грануляция, литье и дробление, являются ресурсосберегающими, но соответствующая результирующая продукция чаще всего является низкорентабельной для предприятия, ее реализация выгодна лишь в радиусе 100 км, а поэтому на сегодняшний день доля доменных шлаков, подвергающихся переработки этими методами не превышает 40%. Соответственно товарной продукцией являются вяжущие (шлакоцемент, клинкер, гранулированный шлак) и щебень [10].

Другие методы (рис.1), раздув и вытягивание, литье, прокат и прессование, вспучивание, использующие огненно-жидкое состояние новообразованного шлака, т.е. текущие шлаки, значительно эффективнее, поскольку позволяют получать высокорентабельную продукцию с широкой сферой применения. Однако, последние методы из-за потери технологических свойств текущих шлаков за время их транспортировки на площадку цехов шлакопереработки и их относительной сложности, к сожалению, не получили широкого распространения [11]. Время от заполнения жидким шлаком ковша до его опорожнения на плацу отвала составляет от 100 до 150 мин. Для обслуживания доменного цеха требуется большое количество ковшей. Обработка текущих шлаков сопряжена с другими технологическими трудностями.

Так, доля затвердевшего в ковше шлака (ковшевого остатка) может достигать 25% и более от первоначального жидкого объема. Ковшевой остаток содержит скрап затвердевшего или осевшего чугуна, поэтому его перерабатывают для извлечения металла [12]. Сам шлак ковшевого остатка пригоден только для щебня, поскольку в нем практически нет стеклофазы, которая образуется только при гранулировании [13]. Получается, что ценность ковшевых остатков не высока, а затраты на его переработку не всегда окупаются. Кроме этого, к недостаткам такого способа переработки текущих шлаков относится потребность большого парка шлаковозов и высокой синхронизации работы перерабатывающей линии с основной металлургической.

Одним из предложений по повышению выхода шлака на обработку было применение стальных ковшей-чаш со шлаковым гарнисажем [14], снижающим тепловые потери расплава шлака, увеличивающих время - существования его в жидком состоянии. Однако эффект от этого предложения невелик. Дальнейшим развитием этого направления явилось предложение по использованию миксерных шлаковозных ковшей, работающих без удаления ковшовых остатков, но при этом остаются нерешенными, по крайней мере, две проблемы. В процессе эксплуатации внутри ковша всё же будет образовываться твердый шлаковый остаток, а на дне - скапливаться жидкий чугун, количество которого составляет от 1 до 3%. Ремонт миксерных ковшей более сложен, чем ковшей открытого типа. Периодический выпуск чугуна из ковша, расположенного на железнодорожной платформе, также затруднен. В последнем случае необходимо иметь специальное место и оснастку для приема жидкого чугуна.

Припечная грануляция [15] позволяет использовать большую часть шлакового расплава для производства гранулированного шлака, исключением является шлак, затвердевший в шлаковых канавах. Однако в большинстве действующих доменных цехов из-за недостатка свободных территорий, а также по ряду других причин пока не представляется возможным разместить припечные грануляционные установки. Единственная в России доменная печь, оборудованная припечным комплексом грануляции, находится на Липецком металлургическом комбинате [16]. Комплекс построен вместе с новой печью. Однако, из-за этого недостатка, все таки около 80...90% выпускаемого доменного шлака вывозится от доменных печей в шлаковозных ковшах. Расплав сливают в траншеи цеха шлакопереработки, занимающие большие площади. При этом выделяются вредны сернистые соединения, которые не возможно локализовать и обезвредить. Процессы дробления, магнитной сепарации и классификации по фракционному составу шлака на применяемом механическом оборудовании весьма трудоемки и энергозатратны.

Очевидно, что ни обработка текущих шлаков у доменных печей, ни обработка карьерных шлаков традиционными методами не удовлетворяет основным требованиям, предъявляемым к переработки шлаков. Они не позволяют решить проблему переработки в полном объеме, плохо встраиваются в основное производство и рентабельны при соблюдение массы условий, которые зачастую сложно создать на предприятии.

Таким образом основная возможность повышения энерго- и ресурсоэффективности обработки текущих доменных шлаков с целью получения из них новых видов сырья или продукции, а так же снижения экологической нагрузки на окружающую среду является использование технологий рециклинга доменных шлаков в огненно-жидком состоянии, но на площадях цеха шлакопереработки.

Предлагаемый нами вариант позволяет эффективно решить проблему рециклинга доменного шлака в условиях существующего производства специализированным литейным модулем (рис. 2) [17], размещенным на территории цеха шлакопереработки металлургического комплекса.

Для этого, шлак одного выпуска сразу же с помощью маневровых мотодрезин передается на участок огневой доводки шлака на площадке цеха шлакопереработки (рис.2). Основным агрегатом этого участка является печь-миксер, поворотная или стационарная. Обогрев миксера производится топливом, создающим восстановительную атмосферу в рабочем

пространстве. Это может быть природный, коксовый газ или их смеси, а так же пылеугольное топливо. Обогрев расплава шлака может производиться и дуговым способом [18]. Миксер позволяет решать ряд задач. Первая – в нем происходит усреднение состава и температуры шлака разных выпусков и разных печей. Вторая – в миксере происходит накопление жидкого чугуна. Третья – в печь-миксер можно догружать шлак ковшевых остатков или из отвала.

Таким образом, отпадает необходимость магнитной сепарации, механического измельчения шлака заменяется на термодробление. Установка припечной грануляции со всем необходимым комплексом оборудования может находится в непосредственной близости от печи миксера.

Таблица 1

Свойства шлаколитых изделий их аналогов и прототипов [19]

Показатель	Каменное литье			Серый чугун Сч 12	Шамотный кирпич	Огнеупорный бетон ПКБП-441
	Износо-стойкое	Термо-стойкое	Из огнен-но-жидких шлаков			
Объемная масса, кг/м³	2900-3000	2800-2960	2950-3020	7200	2200	1960
Предел прочности при сжатии, МПа	200-500	150-360	200-450	500	23	44,4
Предел прочности при изгибе, МПа	20-50	15-40	20-45	280	5,6	3,6
Водопоглощение, %	0,13	0,70	0,20	--	11,0	10,1
Ударная вязкость, кДж/м	1,25	1,06	1,10	3,0	--	1,2
Модуль упругости, МПа	100630	43700	83200	120000	10000	18000
Коэффициент Пуассона	0,25	0,24	0,24	--	--	--
Термостойкость, С°	200	925	850	--	1047	1027
Теплопроводность Вт/(м С), при 20 С°	1,52	1,07	1,37	51,0	1,0	0,83

Печь-миксер позволяет менять химический состав шлаков при необходимости, получать синтетические минеральные сплавы (симиналы)- каменное литье с разными свойствами и широкую номенклатуру изделий из них в зависимости от назначения. В табл. 1 представлены эксплуатационные характеристики шлакокамнелитых и аналогичных материалов. В литейный модуль, в дополнение к главному элементу – печи миксера, входит термическая печь, камерная или проходная, для регулирования охлаждения отливок в период их затвердевания и охлаждения в формах и без них.

Литейный модуль включает в себя следующие отделения: склад сырья, литейный цех, отжиговые печи, вспомогательный корпус, склад готовой продукции, материальный склад, котельная с котлом-утилизатором (для использования тепла отходящих газов). Для освоения новых видов рециклинга текущих и карьерных доменных шлаков и отработки технологических режимов запроектирован участок опытных работ.

Литейный модуль рекомендуется расположить на территории крупного действующего металлургического комбината производительностью не менее 150 тыс. тонн чугуна в год. Располагать модуль следует не в непосредственной близости от доменной печи, а в отдалении, на расстоянии, которое приемлемо для предприятия с точки зрения грузопотоков, поскольку для доставки текущего шлака важно использовать мобильные миксеры, что бы не утратить технологических свойств расплава.

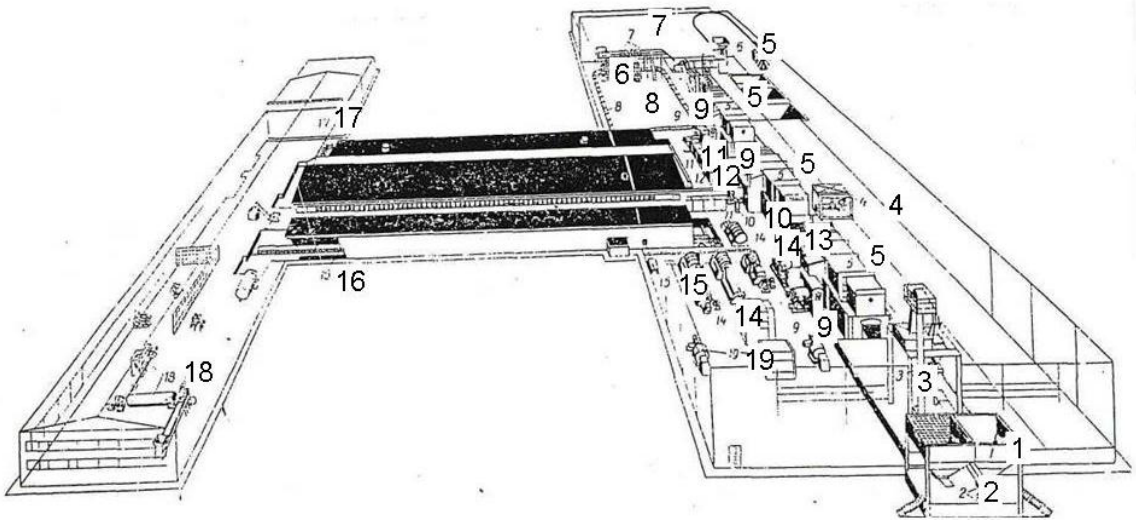


Рис.2. Экспликация литейного модуля для организации рециклинга доменного шлака на территории цеха шлакопереработки [17]:
1 – бункерный блок, 2 – питатели, 3 – автоматические дозаторы, 4 – мульдозагрузочная машина, 5 – печь-миксер (плавильная печь), 6 – землеприготовительное отделение, 7 – формовочное отделение, 8 – литейный конвейер, 9 – копильники, 10 – вакуумные питатели, 11 – конвейеры - кристаллизаторы, 12 – загрузочный транспортер, 13 – самоходный ковш, 14 – машина для центробежной заливки труб, 15 – манипулятор для загрузки труб, 16 – отжиговая печь, 17 – установка для очистки фасонного литья, 18 – установка для производства кислотостойкого порошка, 19 – опытный участок

Территория модуля представляет собою прямоугольный участок примерно в 2,5 *га,* на котором расположен литейный цех и вспомогательный корпус, соединенные в единый комплекс отжиговымп печами. Модуль предполагает наличие сразу нескольких линий: припечная грануляция – гранулированный шлак; раздув и вытягивание – минвата, непрерывное волокно, шлаковата; литье – в разовые и постоянные формы, центробежное литье – плитка, трубы; прокат и прессование – лист, фасонные изделия; вспучивание – шлаковая пемза. В представленной экспликации литейного модуля предусмотрена линия литья в песчано-глинистые формы и линия центробежного литья. Что позволяет в перспективе производить на этой линии отливки изделий из шлака, как, например, торцы брусчатых мостовых [20], износостойкие вставки в трубчатые колена и в течки для абразивных материалов [21], элементы декора и архитектуры малых форм [22] и т.д.

Проектом предусматриваются изделия следующей номенклатуры (в расчете на год, тыс. тн : плиты разные -6; плиты футеровочные -8; фасонное литье -1; трубы длиной до 2 м -2; трубы длиной 0,5 м -4; порошок кислотостойкий -4.

Железнодорожные пути, обслуживающие модуль, должны обеспечивать одновременный прием 15 вагонов.

Текущий шлак поставляется на миксерных шлаковозах.

Для приема и хранения карьерного шлака запроектирован открытый склад с механизацией разгрузки, штабелировки и подачи в производство материалов. В проекте разгрузка сырья осуществляется с помощью специальной разгрузочной лопаты, смонтированной на тракторе С-80, а складские перегрузки сырья и выдача его в производство осуществляются с помощью грейферного крапа.

Из складов твердые шлаки подаются в отделение приготовления шихты: карьерные - без предварительной обработки, после магнитной сепарации - после сушки и помола.

Работа линий для получения литых изделий состоит в следующем.

Из плавильных печей-миксеров расплав поступает в копильники, а из них на формовку и термическую обработку изделий — по соответствующим линиям.

Фасонное литье получается заливкой расплава из поворотного копильника в земляные формы, установленные на литейном конвейере. Предусмотрены землеприготовительное и формовочное отделения. Формовка изделий размером до 500 *мм* машинная, в металлических опоках. Более крупные изделия формуются на плацу.

Кристаллизация фасонных изделий происходит в земляных формах, продолжительность кристаллизации 15—45 мин., температура 900—1000°С.

После кристаллизации, опоку с изделием с помощью крана подают на выбивную решетку, на которой отливка освобождаются от формовочной массы.

Далее изделия попадают на загрузочный лоток, откуда с помощью манипулятора загружаются на вагонетку отжиговой (охладительной) печи, где в течение 20 час охлаждаются до температуры 30—40°С. Отжиговая печь принята туннельного типа.

При выборе типа отжиговой печи был изучен опыт работы разных печей. С точки зрения обеспечения необходимой температуры в каждой зоне, предохранения изделий от резких температурных перепадов наиболее благоприятными являются печи с неподвижным или шагающим подом.

Однако механизация продвижения изделий в таких печах сопряжена с известными трудностями и с потребностью большого количества жаростойкой стали.

Поэтому были запроектированы печи с тележками. При этом принимались специальные меры, предохраняющие рабочее пространство печи от проникновения в него холодного воздуха, создание разрежения в подвагонеточном пространство.

Регулировка и управление тепловыми и аэродинамическими процессами в печи полностью автоматизированы.

Остывшие изделия подаются на очистку от пригоревшей формовочной и стержневой земли. Очистку осуществляют в специальной камере с помощью струи воды под давлением.

После технического контроля, изделия поступают на склад готовой продукции.

Плиты разные отливаются в металлических кокилях конвейера-кристаллизатора. Дозировка расплава и подача его из копильника в кокиль производится вакуумным питателем. Время кристаллизации 15 мин., температура 900— 1000°С. После кристаллизации плиты с помощью манипулятора загружаются в отжиговую печь, аналогичную печи для фасонного литья. Время охлаждения - 15 час. После проверки на стенде плиты направляются на склад готовой продукции.

Производительность литейного модуля составляет 25 тыс. т/год, следовательно, его мощность позволяет перерабатывать около 2тыс. тн шлака в месяц. Поскольку в среднем производительность по чугуну среднего по уровню масштабности производства предприятия составляет 180 тыс. тн/год, можно сказать, что в месяц образуется 7-8 тн доменного шлака (при условии, что на одну тонну чугуна приходится 500-600 кг шлака). Таким образом, организация литейного модуля позволит на ряду с уже существующими на предприятиями технологическими процессами переработки, а именно дробление, грануляция, сепарация и т.д. дополнительно реализовать еще одну технологию, без ущерба для уже существующих. То есть не нужно менять политику предприятия, отказываться от сотрудничества с проверенными партнерами и терять рынки сбыта, и помимо этого предприятие приобретает в номенклатуру своей продукции дополнительно 2 тыс. тн готовой продукции различного назначения – плитки, брусчатка, трубы, волокно и т.п. Причем модуль позволяет варьировать соотношение разных видов продукции литейного модуля, например, в один месяц можно выпустить больше литой плитки, в другой труб и т.д.

В целом переработка части шлака литейным модулем позволяет на 26% повысить величину переработки доменных шлаков и на 13% выход готовой продукции по чугунному цеху за счет пополнения номенклатуры камнелитыми материалами.

Таким образом, рециклинг текущего доменного шлака с помощью литейного модуля на площадках цехов шлакопереработки металлургических комплексов может повысить эффективность производства на 10%, а ресурсоэффективность на 14%.

Список литературы

1. *Шешуков О.Ю., Гуляков В.С., Некрасов И.В., Шаманов А.Н., Висихус А.С., Кудинов Д.З.* Техногенные материалы – сырье для производства шлакообразующих// Тр. Междунар. конгресса «ТЕХНОГЕН-2012». – Екатеринбург, 2012. – с. 190 – 194.
2. *Жучков В.И., Шешуков О.Ю., Ярошенко Ю.Г.* Экологические проблемы ферросплавного производства //Металлургия ферросплавов: Сб. науч. тр. Екатеринбург: УрО РАН, 2001. С. 25-34.
3. *Игнатова А.М., Камерцель В.Г., Чернов В.П.* Разработка шихты для шлаколитых изделий на основе техногенных отходов доменного производства Чусовского металлургического завода/А.М. Игнатова, В.Г. Камерцель, В.П. Чернов//Перспективы технологии материалы: мат. междунар. науч.-тех. конф. -Пермь: ПГТУ, 2008. -С. 183.
4. *Сорокина М.К.* Анализ конкурентоспособности продукции черной металлургии в ценах мирового рынка [Текст]/М.К. Сорокина// Бюллетень «Черная металлургия». - 2005. *№7.* - С. 51-53.
5. Переработка шлаков и безотходная технология в металлургии / М. И. Панфилов [и др.]. - М.: Металлургия, 1987. - 238 с.
6. *Stanners D.* Waste production and management. European Environment Agency [Текст] / D. Stanners., P. Bourdeau // The Dobris Assaesment. Copenhagen. - 1995. -С. 576-583.
7. *Щербакова З.Х., Собянина Е.В., Авербух А.В., Нечунаев А.А.* Переработка техногенных отходов Рубцовского ГОКа – сохранение природных ресурсов // Тр. Междунар. конгресса «ТЕХНОГЕН-2012». – Екатеринбург, 2012. - с. 214-218.
8. *Черепанов К.А., Черныш Г.И., Динельт В.М., Сухарев Ю.И.* Утилизация вторичных материальных ресурсов в металлургии. – М.: Металлургия,1994.– 224 с.
9. *Успенский, В.А.* Установки для грануляции доменных шлаков / В.А. Успенский, М.А. Шаранов // Вопросы шлакопереработки : докл. конф. по шлакопереработке. Челябинск, 1960. - С. 519-546.
10. Переработка шлаков и безотходная технология в металлургии / М.И. Панфилов и др.. М.: Металлургия, 1987. - 238 с.
11. *Баталии Б.С.* Шлакощелочное вяжущее из Чусовского доменного шлака. ППИ, Пермь 1982. 172с.
12. *Довгопол В.И.* Использование шлаков черной металлургии М.: Металлургия, 1978.-165с.
13. ТМ – 15441. Опытный шлаковоз 15–16 м для колеи 1676 мм. МЧМ СССР „Стальпроект“, 1990. – 110 с.
14. Исследование ускоренного охлаждения шлакового расплава при производстве щебня / Г.Я. Захарченко, М.А. Шаранов, Л.А. Зайнуллин, А.И. Бахарев // Металлургическая теплотехника : темат. отрасл. сб. / ВНИИМТ. -М. : Металлургия, 1981. № 9. - С. 90-93.
15. Грануляция шлака у доменной печи объёмом 5000 м3 / М.А. Шаранов, Ф.Я. Ольгинский, В.А. Сацкий, Н.Г. Нетребко, J1. А. Зайнуллин, В.В. Свирин // Сталь. 1977. - № 8. - С. 692 - 695.
16. *Шаранов, М.А.* Придоменная грануляция шлака и чугуна / М.А. Шаранов, Л.А. Зайнуллин, Г.Я. Захарченко // Сталь. 1980. - № 3. - С. 178- 180.
17. *Гольцман И.И., Верхорубов В.А.* Характеристика проекта камнелитейного завода мощностью 25 тыс. т литья в год// в Сб. «Проблемы каменного лить». – Киев: Наукова Думка, 1964. – с. 213- 222.
18. *Липовский И.Е.* Камнелитейное производство/ И.Е. Липовский, В.А. Дорофеев - М.: Металлургия, 1965. – 176 с.
19. *Игнатова А.М., Чернов В.П.* Многотоннажная технология переработки металлургических шлаков и отходов горно-обогатительных комбинатов (ГОК) в литые силикатные материалы для различных сфер промышленности, промышленного, гражданского и дорожного строительства//Ползуновский альманах. -№ 3 т. 2, 2009. -с. 129-131.

20. *Игнатова А.М., Черных М.М., Игнатов М.Н.* Каменное литье как заменитель природных материалов художественных и архитектурно-декоративных изделий//Стекло и керамика. -№6, 2011. -с. 31-36.
21. *Игнатова А.М.* Природа ликвационных явлений в синтетических расплавах каменного литья//Успехи современного естествознания. -№8, 2010. -с. 22-23.
22. *Игнатова А.М., Черных М.М., Игнатов М.Н.* Материалы на основе синтетических минеральных сплавов для цветных дорожных покрытий//Архитектура и строительство России. -№7, 2011. -с. 11-17.

05.13.18

А.С. Калитвин, В.А. Калитвин

Липецкий государственный педагогический университет,
факультет физико-математических и компьютерных наук,
кафедра математического анализа, алгебры и геометрии,
Липецк, kalitvinas@mail.ru, kalitvin@gmail.com

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНТЕГРО-ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫМИ УРАВНЕНИЯМИ С ОПЕРАТОРАМИ РОМАНОВСКОГО И БАРБАШИНА

Изучаются свойства математических моделей, описываемых интегро - дифференциальными уравнениями (ИДУ) с операторами Романовского и Барбашина. Показано принципиальное отличие ИДУ с операторами Романовского от ИДУ с операторами Барбашина. Отмечены задачи, моделируемые ИДУ с операторами Романовского и Барбашина.

Ключевые слова: *математическая модель, интегро-дифференциальное уравнение, оператор Романовского, оператор Барбашина.*

1. О математических моделях с операторами Романовского

В [2] приведена задача двухсвязных марковских цепей, которая впервые поставлена В.И. Романовским и сведена им к интегральному уравнению

$$\lambda x(t,s) = \int_a^b m(t,s,\sigma)x(s,\sigma)d\sigma + f(t,s) \equiv (Rx)(t,s) + f(t,s), \tag{1}$$

где параметр $\lambda > 0,\ t,s \in [a,b],$ а интеграл понимается в смысле Лебега. Это уравнение с непрерывными заданными функциями m и f исследовалось В.И. Романовским в [6] методом определителей Фредгольма.

Оператор Романовского $R,$ уравнение (1), линейные операторы и уравнения типа Романовского с частными интегралами в пространстве $C(D)$ - непрерывных на $D = [a,b]\times[a,b]$ функций и в $L^p(D)$ $(1 \le p \le \infty)$ изучались в [2].

Уравнение (1) — частный случай интегро-дифференциального уравнения (ИДУ)

$$\alpha\frac{\partial x(t,s)}{\partial t} + \lambda a(t,s)x(t,s) = \int_a^b m(t,s,\sigma)x(s,\sigma)d\sigma + f(t,s) \equiv (Rx)(t,s) + f(t,s), \tag{2}$$

оно получается из (2) при $\alpha = 0$ и $a(t,s) \equiv 1.$

Будем рассматривать ИДУ (2) при $\alpha = \lambda = 1$ и начальном условии $x(t_0,s) = \varphi(s),$ где $\varphi(s)$ — непрерывная на отрезке $[a,b]$ функция, а под *его решением понимать функцию* $x \in C_t(D)$ *(т.е. непрерывную на D вместе с* $x'_t(t,s)$ *функцию* $x(t,s)$*), удовлетворяющую этому уравнению и заданному начальному условию.*

Предположим, что $a, f \in C(D),$ а функция $m \in C(L^1),$ где $C(L^1)$ — пространство измеримых на $D\times[a,b]$ функций, которые непрерывны по $(t,s) \in D$ как функции со значениями в $L^1 = L^1([a,b]).$

ИДУ (2) с начальным условием $x(t_0,s) = \varphi(s)$ эквивалентно интегральному уравнению

$$x(t,s) = \int_{t_0}^{t} e^{-\int_{\tau}^{t} a(\tau_1,s)d\tau_1}\left[\int_a^b m(\tau,s,\sigma)x(s,\sigma)d\sigma + f(\tau,s)\right]d\tau + \varphi(s)e^{-\int_{t_0}^{t} a(\tau,s)d\tau}, \tag{3}$$

если под решениями уравнения (3) понимать непрерывные по совокупности переменных функции.

Действительно, если $x \in C_t(D)$ — решение ИДУ (2) с начальным условием $x(t_0, s) = \varphi(s)$, то

$$\frac{\partial x(t,s)}{\partial t} + a(t,s)x(t,s) \equiv \int_a^b m(t,s,\sigma)x(s,\sigma)d\sigma + f(t,s). \tag{4}$$

Интегрируя тождество (4) по отрезку $[t_0, t] \subset [a,b]$ и учитывая начальное условие, получим тождество

$$x(t,s) \equiv \int_{t_0}^{t} e^{-\int_{\tau}^{t} a(\tau_1,s)d\tau_1} \left[\int_a^b m(\tau,s,\sigma)x(s,\sigma)d\sigma + f(\tau,s) \right] d\tau + \varphi(s)e^{-\int_{t_0}^{t} a(\tau,s)d\tau}, \tag{5}$$

которое означает, что непрерывная на D вместе со своей частной производной по t функция $x(t,s)$ есть решение уравнения (3).

Обратно, если $x \in C(D)$ — непрерывное решение интегрального уравнения (3), то правая часть тождества (5) имеет непрерывную на D частную производную по t, так как под знаками интегралов по отрезку $[t_0, t]$ стоят непрерывные на D функции. Дифференцируя обе части тождества (5) по t, получим тождество (4). Полагая в (5) $t = t_0$, имеем $x(t_0, s) = \varphi(s)$. Следовательно, непрерывная на D вместе с $x_t'(t,s)$ функция $x(t,s)$ является решением ИДУ (2) и удовлетвояет начальному условию $x(t_0, s) = \varphi(s)$.

Уравнение (3) можно записать в виде

$$x(t,s) = \int_a^b \left[\int_{t_0}^{t} e^{-\int_{\tau}^{t} a(\tau_1,s)d\tau_1} m(\tau,s,\sigma)d\tau \right] x(s,\sigma)d\sigma + \int_{t_0}^{t} e^{-\int_{\tau}^{t} a(\tau_1,s)d\tau_1} f(\tau,s)d\tau + e^{-\int_{t_0}^{t} a(\tau,s)d\tau} \varphi(s).$$

Таким образом, ИДУ (2) с заданным начальным условием эквивалентно интегральному уравнению

$$x(t,s) = \int_a^b l(t,s,\sigma)x(s,\sigma)d\sigma + h(t,s), \tag{6}$$

где

$$l(t,s,\sigma) = \int_{t_0}^{t} e^{-\int_{\tau}^{t} a(\tau_1,s)d\tau_1} m(\tau,s,\sigma)d\tau,\ h(t,s) = \int_{t_0}^{t} e^{-\int_{\tau}^{t} a(\tau_1,s)d\tau_1} f(\tau,s)d\tau + e^{-\int_{t_0}^{t} a(\tau,s)d\tau} \varphi(s),$$

а под решением уравнения (6) понимается непрерывная на D функция $x(t,s)$, подстановка которой в уравнение (6) обращает это уравнение в тождество.

Уравнение (6) является интегральным уравнением Романовского. Поэтому к уравнению (6) могут быть применены результаты из [2]. В силу [2] (при сделанных выше предположениях относительно заданных функций a, m, f и φ) для уравнения (6) возможен только один из случаев:

а) уравнение (6) имеет единственное решение $x \in C(D)$ при любых функциях $f \in C(D)$ и $\varphi \in C([a,b])$;

б) уравнение (6) имеет в $C(D)$ конечное число линейно-независимых решений;

в) уравнение (6) не имеет решений в $C(D)$.

Такие же утверждения имеют место и для решений $x \in C_t(D)$ ИДУ (2) с заданным начальным условием.

Рассмотрим ИДУ

$$\alpha\frac{\partial x(t,s)}{\partial t}+\lambda a(t,s)x(t,s)=\int_a^b m(t,s,\sigma)x(\sigma,t)d\sigma+f(t,s)\equiv(R_1x)(t,s)+f(t,s) \tag{7}$$

с оператором Романовского R_1 и с начальным условием $x(t_0,s)=\varphi(s)$. Будем считать, что в (7) $\alpha=\lambda=1$, $a, f\in C(D)$, $m\in C(L^1)$, а под решением уравнения (7) с заданным начальным условием понимать функцию $x\in C_t(D)$, удовлетворяющую этому уравнению и заданному начальному условию. Тогда ИДУ (7) с заданным начальным условием эквивалентно интегральному уравнению

$$x(t,s)=\int_{t_0}^t e^{-\int_\tau^t a(\tau_1,s)d\tau_1}\left[\int_a^b m(\tau,s,\sigma)x(\sigma,\tau)d\sigma+f(\tau,s)\right]d\tau+\varphi(s)e^{-\int_{t_0}^t a(\tau,s)d\tau}, \tag{8}$$

решением которого считается функция $x\in C_t(D)$, при подстановке которой в уравнение (8) оно обращается в тождество. Уравнение (8) можно записать в виде

$$x(t,s)=\int_{t_0}^t\int_a^b k(t,s,\tau,\sigma)x(\sigma,\tau)d\sigma d\tau+h(t,s), \tag{9}$$

где

$$k(t,s,\tau,\sigma)=e^{-\int_\tau^t a(\tau_1,s)d\tau_1}m(\tau,s,\sigma),\ h(t,s)=\int_{t_0}^t e^{-\int_\tau^t a(\tau_1,s)d\tau_1}f(\tau,s)d\tau+\varphi(s)e^{-\int_{t_0}^t a(\tau,s)d\tau}.$$

Последнее уравнение можно рассматривать как двумерное интегральное уравнение Фредгольма с непрерывным ядром. Поэтому для него справедливы такие же свойства, что и свойства, приведенные в утверждениях а)-в) для уравнения (6).

Уравнение (9) содержит интеграл с переменным верхним пределом интегрирования. Следующий пример показывает, что даже в случае простейшего непрерывного ядра это уравнение не является интегральным уравнением Вольтерра.

Действительно, пусть $a=0, b=\sqrt{2}, k(t,s,\tau,\sigma)\equiv 1$ и $h(t,s)\equiv 0$. Тогда уравнение (9) имеет вид

$$x(t,s)=\int_0^t\int_0^{\sqrt{2}}x(\sigma,\tau)d\sigma d\tau\equiv(Kx)(t,s). \tag{10}$$

Непосредственно проверяется, что функция $x(t,s)=t$ есть ненулевое решение уравнения (10) в $C(D)$. Поэтому спектральный радиус компактного в $C(D)$ интегрального оператора K больше нуля. Следовательно, этот оператор не является интегральным оператором Вольтерра в $C(D)$, а интегральное уравнение (10) с этим оператором не является интегральным уравнением Вольтерра.

2. О математических моделях с операторами Барбашина

Утверждения а)-в) свидетельствуют о принципиальном отличии ИДУ (2) и (7) от ИДУ Барбашина

$$\alpha\frac{\partial x(t,s)}{\partial t}+\lambda a(t,s)x(t,s)=\int_a^b m(t,s,\sigma)x(t,\sigma)d\sigma+f(t,s), \tag{11}$$

основы теории более общих классов которых построены в [1], причем уравнение (11) с начальным условием $x(t_0,s)=\varphi(s)$ интерпретировалось как задача Коши для линейного дифференциального уравнения в банаховом пространстве или сводилось к линейному интегральному уравнению Вольтерра с частными интегралами. В силу [1] ИДУ Барбашина (11) при $\alpha=\lambda=1$, при начальном условии $x(t_0,s)=\varphi(s)$ и при тех же предположениях

относительно заданных функций a, m, f и φ имеет единственное решение, понимаемое в таком же смысле, что и решения ИДУ (2) и (7).

Отметим, что ИДУ Барбашина вида (11) могут быть использованы для качественного исследования бесконечных систем линейных дифференциальных уравнений, а системы ИДУ Барбашина — для качественного исследования систем нестационарных уравнений баланса для произвольно большого количества $m \to \infty$ веществ (систем с существенно распределенными параметрами) [1]. При этом m заменяется переменной $s \in [c, d]$, переменная t имеет различный физический смысл, а при фиксированном s функция $x(\cdot, s)$ может рассматриваться как функция плотности вероятности. Численный анализ систем с существенно распределенными параметрами производился в [4].

ИДУ Барбашина с интегралом по промежутку $(-\infty, \infty)$ является математической моделью следующей задачи теории вероятностей, описанной А.Н. Колмогоровым [5, с. 104].

Пусть за бесконечно малый промежуток времени $(t, t+dt)$ параметр s с вероятностью $1 - a(t,s)dt$ сохраняет прежнее значение и с вероятностью $m(t,s,\sigma)dtd\sigma$ переходит в s', где $\sigma < s' < \sigma + d\sigma$ и

$$\int_{-\infty}^{\infty} m(t,s,\sigma)d\sigma = a(t,s).$$

Если в момент времени t_0 известна дифференциальная функция распределения $x(t_0, s)$, то функция распределения $x(t,s)$ при любом $t > t_0$, по определению, имеет следующий вид:

$$x(t,s) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t_0, \sigma, t, s) x(t_0, \sigma) d\sigma,$$

где неотрицательная функция $f(t_0, \sigma, t, s)$ измерима в смысле Бореля относительно σ, s и определяет схему некоторого стохастического процесса. А.Н. Колмогоров отметил, что для $x(t,s)$ должно, по-видимому, иметь место ИДУ

$$\frac{\partial x(t,s)}{\partial t} = -a(t,s)x(t,s) + \int_{-\infty}^{\infty} m(t,s,\sigma)x(t,\sigma)d\sigma, \tag{12}$$

которое является ИДУ Барбашина.

Условия существования и единственности непрерывного на $[a,b] \times (-\infty, \infty)$ вместе с $x'_t(t,s)$ решения $x(t,s)$ ИДУ Барбашина (12) с начальным условием $x(t_0, s)$ получены в [3].

Благодарности. Работа поддержана Минобрнауки РФ, проект 1.4407.2011.

Список литературы

1. *Appell J.M., Kalitvin A.S., Zabrejko P.P.* Partial Integral Operators and Integro-Differential Equations.—New York-Basel: Marcel Dekker, 2000. — 560 p.
2. *Калитвин А.С.* Интегральные уравнения типа Романовского с частными интегралами. — Липецк: ЛГПУ, 2007. — 195 с.
3. *Калитвин А.С.* Об интегро-дифференциальном уравнении одной задачи теории вероятностей. — Обозрение прикладной и промышленной математики. — 2009. — Т. 16, вып. 4. — С. 663–664.
4. *Калитвин В.А.* О численном анализе одной модели в теории систем с существенно распределенными параметрами // Современные проблемы прикладной математики и математического моделирования: материалы III междун. конф. (Воронеж, 2-7 февр. 2009 г.). — Воронеж: Научная книга, 2009. — Ч. I. — С. 14-15.
5. *Колмогоров А.Н.* Теория вероятностей и математическая статистика. — М.: Наука, 1986. — 535 с.
6. *Romanovskij V.* Sur une classe d'equations integrales lineares // Acta Math., 1932. — Vol. 59. — P. 99–208.

05.13.18

А.С. Калитвин, В.А. Калитвин

Липецкий государственный педагогический университет,
факультет физико-математических и компьютерных наук,
кафедра математического анализа, алгебры и геометрии,
Липецк, kalitvinas@mail.ru, kalitvin@gmail.com

О МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ МНОГОСВЯЗНОЙ ЦЕПИ МАРКОВА

Рассматривается задача многосвязной цепи Маркова. Математической моделью задачи является линейное интегральное уравнение с некомпактным оператором. Работа содержит условия, при которых для этого уравнения справедливы теоремы Фредгольма.

Ключевые слова: *математическая модель, цепь Маркова, интегральное уравнение, теоремы Фредгольма.*

Пусть даны непрерывная случайная переменная X со значениями на спрямляемой кривой T на плоскости или в трехмерном пространстве и бесконечный ряд опытов с этой переменной, пронумерованных числами 1, 2, 3,.... Предполагается, что при естественной параметризации кривой длина ее произвольной дуги $(t, t+\Delta t)$ обозначается через dt, параметр изменяется на конечном отрезке, опыты $1,2,...,n$ образуют начальное звено 0, опыты $2,3,...,n+1$ — звено 1 и так далее. Бесконечная последовательность этих звеньев составляет многосвязную (двухсвязную при $n=2$) цепь Маркова, если выполняются следующие условия.

Значения $x_1, x_2,..., x_n$ переменной X в начальном звене удовлетворяют дифференциальному закону теории вероятностей $p_0(x_1, x_2,..., x_n)$ — начальному закону. Дифференциальный закон равенства $X = x_n$ в каком-нибудь опыте дается функцией $\varphi(t, x_1,..., x_{n-1}, x_n)$ при условии, что в n предыдущих опытах $X = t, X = x_1,..., X = x_{n-1}$. При этом должно выполняться равенство

$$\int_T \varphi(t, x_1,..., x_n)dx_n = 1;$$

здесь и далее интегралы понимаются в смысле Лебега.

Пусть $p_k(x_1,..., x_n)$ — дифференциальный закон вероятностей того, что в звене k $X = x_1,..., X = x_n$, а о результатах других опытов ничего не известно. Тогда

$$p_{k+1}(x_1,..., x_n) = \int_T p_k(t, x_1, x_2,..., x_{n-1})\varphi(t, x_1,..., x_n)dt. \tag{1}$$

Если теперь $p_k(x)$ — дифференциальный закон вероятностей равенства $X = x$ в k-ом опыте при условии, что результаты других опытов неизвестны, то

$$p_k(x) = \int_T ... \int_T p_{k-n-1}(t_1,..., t_n)\varphi(t_1,..., t_n, x)dt_1...dt_n.$$

Полагая в (1) $p_k(x_1,..., x_n) = \lambda^{-k}u(x_1,..., x_n)$, получим, что функция $u(x_1,..., x_n)$ удовлетворяет многомерному однородному интегральному уравнению

$$u(x_1,..., x_n) = \lambda\int_T \varphi(t, x_1,..., x_n)u(t, x_1,..., x_{n-1})dt. \tag{2}$$

Уравнение (2) — частный случай неоднородного интегрального уравнения

$$u(x_1,..., x_n) = \lambda\int_T \varphi(t, x_1,..., x_n)u(t, x_1,..., x_{n-1})dt + f(x_1,..., x_n). \tag{3}$$

Аналогично, уравнения (2) и (3) являются математическими моделями многосвязных

цепей Маркова, в которых вместо спрямляемой кривой T рассматривается квадрируемая или кубируемая область T. Во всех случаях свойства изучаемых многосвязных цепей Маркова определяются свойствами решений уравнений (2) и (3).

Заметим, что ряд опытов, связанных в цепь Маркова, играет важную роль в генетике, в некоторых вопросах математической физики и т.д. [7]. Интегральные уравнения (2) и (3) исследовались В.И. Романовским в [7] при $T=[a,b]$ и при условии непрерывности заданных функций $\varphi(t,x_1,...,x_n)$, $f(x_1,...,x_n)$. Интегральные уравнения типа Романовского с $n=2$ и $T=[a,b]$ изучались в [3]. Уравненине (3) с $n=2$ и $T\neq[a,b]$ рассматривалось в [4].

В данной работе уравнение (3) изучается при более общих условиях.

Пусть T — компактное множество, $D=T^n$, $C=C(D)$ — пространство непрерывных на D функций, $L_j=L^1(T^j)$ и $C(L_j)$ — пространство непрерывных на D вектор-функций со значениями в L_j ($j=1,...,n$). $C(L_j)$ состоит из функций $a(t_1,...,t_j,x_1,...,x_n)$, для которых

$$\sup_D \int_{T^j} |a(t_1,...,t_j,x_1,...,x_n)|\,dt_1...dt_j<\infty, \tag{4}$$

$$\int_{T^j} |a(t_1,...,t_j,x_1,...,x_n)-a(t_1,...,t_j,\bar{x}_1,...,\bar{x}_n)|\,dt_1...dt_j\to 0 \tag{5}$$

при $x_1\to\bar{x}_1,...,x_n\to\bar{x}_n$. $C(L^j)$ ($j=1,...,n$) — банахово пространство относительно нормы $\|u\|_{C(L^j)}=\sup_D\int_{T^j}|a(t_1,...,t_j,x_1,...,x_n)|\,dt_1...dt_j$.

Через Φ обозначим линейный оператор, определяемый равенством

$$\Phi u(x_1,...,x_n)=\int_T \varphi(t,x_1,...,x_n)u(t,x_1,...,x_{n-1})dt, \tag{6}$$

где $\varphi\in C(L_1)$, а $u\in C(D)$. Оператор Φ действует в $C(D)$ и ограничен.

Действительно, так как $\varphi\in C(L_1)$, а $u\in C(D)$, то подынтегральная функция в (6) принадлежит $C(L_1)$. По теореме о непрерывной зависимости интеграла от параметра [1, с. 242] функция Φu непрерывна, т.е. оператор (6) действует в $C(D)$. Ограниченность оператора Φ вытекает из оценки

$$\|\Phi u\|_C=\max_D\left|\int_T\varphi(t,x_1,...,x_n)u(t,x_1,...,x_{n-1})dt\right|\le$$
$$\le\max_D\int_T|\varphi(t,x_1,...,x_n)u(t,x_1,...,x_{n-1})|\,dt\le\|\varphi\|_{C(L_1)}\|u\|_C.$$

Таким образом, оператор Φ действует в $C(D)$, ограничен и $\|\Phi\|\le\|\varphi\|_{C(L_1)}$.

Поэтому уравнение (3) с ядром φ из $C(L_1)$ естественно рассматривать в $C(D)$ как операторное уравнение

$$u=\lambda\Phi u+f,\ f\in C(D), \tag{7}$$

в котором Φ не является компактным оператором в $C(D)$, если $\varphi\neq 0$. Следовательно, к уравнениям (3) и (7) непосредственно не применимы теоремы Фредгольма. Следующая теорема показывает, что теоремы Фредгольма, тем не менее, распространяются на уравнения (3) и (7).

Теорема. *Пусть $\varphi\in C(L_1)$ и $f\in C(D)$. Тогда для уравнений (3) и (7) справедливы теоремы Фредгольма.*

Доказательство. Достаточно проверить компактность оператора Φ^n в $C(D)$, так как компактность оператора Φ^m при некотором натуральном m влечет справедливость альтернативы Фредгольма для оператора $I-\lambda\Phi$ [3, с. 511], т.е. теорем Фредгольма для

уравнений (3) и (7).

С применением теоремы Фубини и равенства (6) имеем

$$\Phi^1 u(x_1,...,x_n) = \int_T \varphi(t_1, x_1,...,x_n) u(t_1, x_1,...,x_{n-1}) dt_1,$$

$$\Phi^2 u(x_1,...,x_n) = \int_T\int_T \varphi(t_2, x_1,...,x_n)\varphi(t_1, t_2, x_1,...,x_{n-1}) u(t_1, t_2, x_1,...,x_{n-2}) dt_1 dt_2,$$

.....

$$\Phi^n u(x_1,...,x_n) = \int_T \ldots \int_T \varphi(t_n, x_1,...,x_n)\varphi(t_{n-1}, t_n, x_1,...,x_{n-1}) \times ...$$

$$\times \varphi(t_1, t_2,...,t_n, x_1) u(t_1,...,t_n) dt_1 ... dt_n,$$

где u — произвольная функция из $C(D)$. Ядро оператора $\Phi^1 = \Phi$ — функция $\varphi(t, x_1,...,x_n)$ — принадлежит $C(L_1)$. Покажем, что ядро оператора Φ^2 принадлежит $C(L_2)$, то есть удовлетворяет условиям (4) и (5) при $j = 2$. Имеем

$$\int_T\int_T |\varphi(t_2, x_1,...,x_n)\varphi(t_1, t_2, x_1,...,x_{n-1})| dt_1 dt_2 =$$

$$= \int_T \left[|\varphi(t_2, x_1,...,x_n)| \int_T |\varphi(t_1, t_2, x_1,...,x_{n-1})| dt_1 \right] dt_2 \le \|\varphi\|^2_{C(L_1)}.$$

Следовательно, ядро оператора Φ^2 удовлетворяет условию (4). Из выполнения условия (5) для функции φ имеем

$$\int_T\int_T |\varphi(t_2, x_1,...,x_n)\varphi(t_1, t_2, x_1,...,x_{n-1}) - \varphi(t_2, \bar{x}_1,...,\bar{x}_n)\varphi(t_1, t_2, \bar{x}_1,...,\bar{x}_{n-1})| dt_1 dt_2 \le$$

$$\le \int_T\int_T |\varphi(t_2, x_1,...,x_n) - \varphi(t_2, \bar{x}_1,...,\bar{x}_n)| |\varphi(t_1, t_2, x_1,...,x_{n-1})| dt_1 dt_2 +$$

$$+ \int_T\int_T |\varphi(t_2, \bar{x}_1,...,\bar{x}_n)| |\varphi(t_1, t_2, x_1,...,x_{n-1}) - \varphi(t_1, t_2, \bar{x}_1,...,\bar{x}_{n-1})| dt_1 dt_2 \le$$

$$\le \|\varphi\|_{C(L_1)} \left(\int_T |\varphi(t_2, x_1,...,x_n) - \varphi(t_2, \bar{x}_1,...,\bar{x}_n)| dt_2 + \right.$$

$$\left. + \int_T |\varphi(t_1, t_2, x_1,...,x_{n-1}) - \varphi(t_1, t_2, \bar{x}_1,...,\bar{x}_{n-1})| dt_1 \right).$$

Так как ядро оператора Φ^2 удовлетворяет условию (5), то слагаемые в скобках правой части последнего неравенства стремятся к нулю при $x_1 \to \bar{x}_1,..., x_n \to \bar{x}_n$. Тогда и левая часть этого неравенства стремится к нулю при $x_1 \to \bar{x}_1,..., x_n \to \bar{x}_n$. Таким образом, ядро оператора Φ^2 удовлетворяет условиям (4) и (5), т.е. принадлежит $C(L_2)$.

С применением метода математической индукции доказывается, что ядро оператора Φ^J принадлежит $C(L_j)$ при других j. Поэтому ядро интегрального оператора Φ^n принадлежит пространству $C(L_n)$. В силу критерия компактности интегрального оператора в $C(D)$ [2, с. 101] оператор Φ^n компактен в $C(D)$. Теорема доказана.

Отметим, что непрерывная функция φ принадлежит $C(L_1)$. Поэтому утверждение теоремы справедливо для интегральных уравнений (3) с непрерывными ядрами, которые являются математическими моделями многосвязных цепей Маркова. Утверждение теоремы справедливо, если φ — ограниченная измеримая функция, имеющая разрывы только вдоль конечного числа поверхностей $t = \gamma(x_1,...,x_n)$ с непрерывной функцией γ; более того, оно справедливо, если ограниченность функции φ заменить неравенством $\|\varphi(\cdot, x_1,...,x_n)\|_{L^p} \le c < \infty$ $(1 < p < \infty)$, так как при этих условиях $\varphi \in C(L_1)$ [5, с. 40-41]. Так

же, как в [5, с. 90-92], доказывается, что ядро типа потенциала $\varphi(t, x_1,..., x_n) = \psi(t, x_1,..., x_n) / \sum_{k=1}^{n} a_k \mid x_k - t \mid^{\gamma_k}$, где ψ — непрерывная функция, $0 < \gamma_k < 1$ и a_k $(k = 1,..., n)$ — неотрицательные числа, среди которых хотя бы одно отлично от нуля, принадлежит пространству $C(L_1)$. Тогда утверждение теоремы справедливо и для интегральных уравнений (3) с ядрами типа потенциала.

Отметим, что уравнение (2) получено из (1) в предположении выполнения равенства $p_k(x_1,..., x_n) = \lambda^{-k} u(x_1,..., x_n)$. Если теперь $|\lambda| > 1$ и $u \in C(D)$, то $\lim_{k\to\infty} p_k(x_1,..., x_n) = 0$, $\lim_{k\to\infty} p_k(x) = 0$, т.е. законы $p_k(x)$ и $p_k(x_1,..., x_n)$ стремятся при $k \to \infty$ к конечным законам. В условии теоремы законы $p_k(x)$ и $p_k(x_1,..., x_n)$ также стремятся при $k \to \infty$ к конечным законам, не зависящим от непрерывного начального закона $p_0(x_1,..., x_n)$.

В заключение отметим, что уравнение (2) может быть получено из (1) и без предположения о выполнении равенства $p_k(x_1,..., x_n) = \lambda^{-k} u(x_1,..., x_n)$. В [7] приведены условия, при которых в случае непрерывной функции $\varphi(t_1,..., t_n, x)$ законы $p_k(x)$ и $p_k(x_1,..., x_n)$ стремятся при $k \to \infty$ к конечным законам, т.е.

$$\lim_{k\to\infty} p_k(x_1,..., x_n) = p(x_1,..., x_n), \lim_{k\to\infty} p_k(x) = \int_D p(t_1,..., t_n)\varphi(t_1,..., t_n, x)dt_1...dt_n,$$

каков бы ни был непрерывный начальный закон $p_0(x_1,..., x_n)$. Последние два равенства выражают важнейшие свойства рассмотренной математической модели многосвязной цепи Маркова.

Благодарности. Работа поддержана Минобрнауки РФ, проект 1.4407.2011.

Список литературы

1. *Акилов Г.П., Макаров Б.М., Хавин В.П.* Элементарное введение в теорию интеграла. - Л.: ЛГУ, 1969. -350 с.
2. *Забрейко П.П. и др.* Интегральные уравнения. - М.: Наука, 1968. - 448 с.
3. *Калитвин А.С.* Интегральные уравнения типа Романовского с частными интегралами. - Липецк: ЛГПУ, 2007. - 195 с.
4. *Калитвин А.С., Калитвин В.А.* О математическом моделировании уравнениями Романовского некоторых задач марковских цепей// Обозрение прикладной и промышленной математики. - М.: ОПиПМ, 2010. - Т. 17, вып. 4. - С. 561-562.
5. *Калитвин А.С., Фролова Е.В.* Линейные уравнения с частными интегралами. С-теория. - Липецк: ЛГПУ, 2004. - 195 с.
6. *Канторович Л.В., Акилов Г.П.* Функциональный анализ. - М.: Наука,1984. - 752 с.
7. *Романовский В.И.* Избранные труды. Т.2: Теория вероятностей, статистика и анализ. - Ташкент: Наука, 1964. - 390 с.

05.13.06

Ю.П. Кирин, В.В. Кирьянов

Березниковский филиал Пермского национального исследовательского политехнического университета,
г. Березники, klu2010@mail.ru

ЭВРИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ВАКУУМНОЙ СЕПАРАЦИИ ГУБЧАТОГО ТИТАНА

Проанализировано современное состояние технологии процесса вакуумной сепарации губчатого титана. Предложены эвристические методы совершенствования температурного и вакуумного режимов процесса. Приведены результаты промышленных испытаний и внедрения методов.

Ключевые слова: *вакуумная сепарация, губчатый титан, температурный и вакуумный режимы, эвристические методы.*

Процессы восстановления тетрахлорида титана магнием и последующей вакуумной сепарации, составляют основу промышленного производства губчатого титана. Процессы проводят в аппаратах восстановления и сепарации периодического действия. Экзотермическая реакция химического превращения:

$$TiCl_4 + 2Mg = Ti + 2MgCl_2 + 519\,\text{кДж/моль}$$

Вакуумная сепарация является основным промышленным способом очистки губчатого титана от примесей магния и хлорида магния. Процесс основан на значительной разнице равновесного давления паров магния, хлорида магния и титана. Полученную после процесса восстановления реакционную массу (блок губчатого титана, пропитанный магнием и хлоридом магния) нагревают в герметичном аппарате, в котором создают вакуум. При этом магний и хлорид магния, имеющие достаточно высокое давление паров, испаряются и конденсируются в специальном устройстве – конденсаторе. Передел вакуумной сепарации имеет ряд существенных недостатков, основными из которых являются: периодичность, малая производительность, необходимость применения сложного и дорогостоящего оборудования, высокий расход электроэнергии (6-10 кВт·ч на 1 кг титана). Стадия вакуумной сепарации ограничивает возможности интенсификации процесса восстановления, так как структура губки, образующейся при высоких скоростях восстановления, затрудняет отгонку летучих компонентов из реакционной массы и снижает производительность сепарации. Вакуумная сепарация – лимитирующая стадия, наиболее энергоемкий и малопроизводительный процесс всей технологической схемы производства губчатого титана. Механизм процесса сепарации и условия удаления из титановой губки примесей магния и хлорида магния изучены недостаточно. Необходимы глубокие и всесторонние исследования по совершенствованию этого процесса [1].

В общем случае к основным параметрам, определяющим скорость очистки блока губчатого титана от примесей магния и хлорида магния, следует отнести:

- структуру титановой губки;
- состав реакционной массы;
- температуру процесса сепарации;
- остаточное давление в аппарате сепарации;
- температурный режим конденсации магния и хлорида магния;
- скорость капиллярного переноса жидких фаз магния и хлорида магния по блоку губчатого титана;
- геометрические размеры аппарата сепарации.

В работе [2] высказаны гипотезы повышения эффективности вакуумной сепарации, основанные на изменении температурного и вакуумного режимов по некоторым алгоритмам, обеспечивающим сокращение длительности сепарации и снижение энергозатрат. Были приняты во внимание известные закономерности протекающих в аппарате сепарации процессов тепло- и массопереноса и конденсации, изменения в ходе процесса теплофизических характеристик реакционной массы. Предполагалось, что скорость сепарации может быть повышена за счёт:

- повышения температуры сепарации до максимально допустимого значения;
- интенсивного прогрева блока реакционной массы;
- ускорения переноса жидких фаз магния и хлорида магния по блоку губчатого титана.

При формулировании первой гипотезы принято во внимание известное положение о том, что скорость сепарации возрастает с повышением температуры процесса. Эта гипотеза заключается в вакуумировании и поддержании в ходе процесса температуры зон нагрева аппарата на максимально возможном (допустимом) уровне с помощью специально разработанных корректирующих устройств и регуляторов. Вторая гипотеза так же предусматривает поддержание в течение всего процесса максимально допустимой температуры зон нагрева с одновременным регулированием в ходе процесса величины вакуума (остаточного давления) в аппарате сепарации. Такой технологический режим позволяет в начальной стадии процесса использовать высокую температуропроводность реакционной массы для интенсивного её прогрева до максимальной температуры и за счёт этого ускорить отгонку из реакционной массы магния и хлорида магния. Третья гипотеза основывается на вакуумировании и организации переменных режимов подвода энергии к зонам нагрева аппарата, которые изменением температурных полей реакционной массы инициируют движение жидких фаз магния и хлорида магния из центра к поверхности реакционной массы. Испарение происходит на поверхности реакционной массы, то есть повышается скорость сепарации.

Для проверки сформулированных гипотез использованы эвристические методы определения режимных параметров вакуумной сепарации. Экспериментально подбирались температурный и вакуумный режимы сепарации, обеспечивающие сокращение длительности сепарации и снижение энергозатрат. Для повышения эффективности вакуумной сепарации разработаны и испытаны в промышленных аппаратах способы ведения процесса при переменных температурном и вакуумном режимах [3].

Так, в процессе отгонки магния и хлорида магния целесообразно регулировать температуру реакционной массы. Это достигается изменением скорости откачки аппарата сепарации [4], периодическим отключением вакуумной системы [5], чередованием вакуумирования и подачи в аппарат аргона [6]. Поддержание максимально допустимой температуры сепарации в ходе испарения магния и хлорида магния осуществляется корректировкой заданных значений регулятору температуры зон нагрева аппарата [7]. Максимально допустимую температуру на отдельных стадиях или в течение всего процесса сепарации целесообразно поддерживать с помощью импульсных регуляторов [8, 9]. Для управления капиллярным переносом жидких фаз магния и хлорида магния по блоку губчатого титана необходимо регулировать скорость нагрева и охлаждения блока губчатого титана в печи сепарации [10,11]. Управление скоростью отгонки летучих компонентов возможно изменением температурного режима конденсатора [4-6,10]. Предусмотрен контроль хода отгонки магния и хлорида магния и прогнозирование момента окончания процесса сепарации с помощью автоматизированных систем управления [12].

Последовательность этапов эвристических исследований процесса вакуумной сепарации губчатого титана следующая:

1) изучение процессов тепло- и массопереноса и конденсации в промышленном аппарате сепарации;

2) формулирование гипотез о скорости процесса сепарации;

3) выбор и обоснование температурного и вакуумного режимов, повышающих скорость сепарации;
4) опытно-промышленные испытания предложенных технологических режимов;
5) анализ результатов опытно-промышленых испытаний;
6) выбор оптимальных температурного и вакуумного режимов сепарации;
7) внедрение в производство оптимальных режимов сепарации.

В результате эвристических исследований вакуумной сепарации получены следующие практические результаты.

Проверка первой гипотезы показала возможность сокращения длительности сепарации и снижения энергозатрат за счёт повышения в допустимых пределах температуры зон нагрева аппарата. Согласно второй гипотезе регулирование остаточного давления в аппарате позволяет повысить скорость прогрева реакционной массы. При этом важным является то обстоятельство, что процесс можно проводить со скоростью откачки аппарата сепарации существенно (в несколько раз) меньшей скорости откачки аппарата действующими вакуумными системами. Проведение процесса сепарации в соответствии с третьей гипотезой с регулируемыми скоростями нагрева и охлаждения блока реакционной массы дало возможность снизить энергозатраты и стабилизировать тепловой режим конденсатора.

Внедрение оптимальных технологических режимов позволило повысить производительность и снизить энергозатраты процесса вакуумной сепарации [3]. Предложенные эвристические методы являются первым этапом совершенствования вакуумной сепарации. Дальнейшее изучение и совершенствование процесса предполагается осуществить методом математического моделирования.

Список литературы

1. *Тарасов А.В.* Металлургия титана. – М.: ИКЦ«Академкнига», 2003.–328 с.
2. *Кирин Ю.П., Кирьянов В.В.* Повышение эффективности вакуумной сепарации губчатого титана. //Наука в решении региональных проблем: Сб.науч.тр. с международным участием. – Березники: БФ ПНИПУ. – Вып.8.-2012- С.130-134.
3. *Кирин Ю.П., Беккер В.Ф., Затонский А.В.* Совместное проектирование технологии и системы управления вакуумной сепарацией губчатого титана. – Пермь: ПГТУ, 2008. – 124с.
4. Патент 1812808 РФ. Способ сепарации титансодержащей реакционной массы / Ю.П. Кирин. Н.А. Носков, В.И. Лидерман, В.А. Бушмакин, А.И. Титаренко. – Опубл. в БИ, 1996, №24.
5. Патент 2067127 РФ. Способ сепарации титансодержащей реакционной массы / Ю.П. Кирин, Н.А. Носков, С.В. Мушков. – Опубл. в БИ, 1996, №27.
6. Патент 1818858 РФ. Способ сепарации титансодержащей реакционной массы / Ю.П. Кирин, Н.А. Носков, С.В. Мушков. – Опубл. в БИ, 1996, №24.
7. А.с. 790816 СССР. Способ регулирования процесса сепарации титана / Ю.П.Кирин, Б.А.Оверин, А.И.Гулякин и др. - Опубл. в БИ, 2000, №4
8. Патент 1797288 РФ. Способ управления аппаратом вакуумной сепарации губчатого титана / Ю.П. Кирин, Ю.А. Протасов, Н.А. Носков и др. – Опубл. в БИ, 1996, №27.
9. Свидетельство 6799 РФ на полезную модель. Устройство для регулирования температуры аппарата вакуумной сепарации губчатого титана / Ю.П. Кирин, С.В. Евсеев, Н.А. Носков. – Опубл. в БИ, 1998, №6.
10. Патент 2070593 РФ. Способ вакуумной сепарации губчатого титана / Ю.П. Кирин. – Опубл. в БИ, 1996, №35.
11. Патент 2061774 РФ. Способ вакуумной сепарации губчатого титана / Ю.П. Кирин. – Опубл. в БИ, 1996, №16.
12. *Кирин Ю.П.* Информационная поддержка управления технологическими процессами производства губчатого титана. // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2009. - № 11. – С.7-10.

05.13.06

Ю.П. Кирин, В.В. Кирьянов, Л.А. Щепин

Березниковский филиал Пермского национального исследовательского политехнического университета,
г. Березники, klu2010@mail.ru

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ВАКУУМНОЙ СЕПАРАЦИИ ГУБЧАТОГО ТИТАНА

Рассмотрены математические модели, предназначенные для совершенствования процесса вакуумной сепарации губчатого титана. Приведены результаты математического моделирования процесса. Для дальнейшего совершенствования вакуумной сепарации предложено оптимизировать температурный и вакуумный режимы процесса. Сформулирована задача оптимизации, заключающаяся в отыскании температурного и вакуумного режимов, минимизирующих длительность процесса сепарации.

Ключевые слова: *вакуумная сепарация, губчатый титан, математическое моделирование, температурный и вакуумный режимы.*

В настоящее время для повышения эффективности процесса вакуумной сепарации губчатого титана используются эвристические методы совершенствования температурного и вакуумного режимов сепарации. Применение этих методов позволило повысить производительность процесса сепарации и снизить энергозатраты [1]. Вместе с тем эвристические методы не позволяют в полной мере использовать имеющиеся возможности и резервы улучшения технологических показателей вакуумной сепарации.

Математическое моделирование является одним из основных направлений совершенствования процесса вакуумной сепарации губчатого титана. Для исследования процесса разработано несколько математических моделей.

По мнению автора работы [2], процесс сепарации, протекающий в промышленном аппарате, не моделируется на созданном лабораторном аппарате. Поэтому им была предпринята попытка составления математического описания процесса на основании данных обследования работы промышленного аппарата.

Корреляционными методами проанализировано влияние на производительность аппарата следующих факторов: температуры выдержки, плотности получаемой губки, мощности печи, диаметра аппарата, величины загрузки губки. Найдено уравнение множественной регрессии, устанавливающее связь между производительностью аппарата и параметрами процесса.

Автором работы [3] проведена экспериментально-статистическая оптимизация процессов восстановления и сепарации титана методом эволюционного планирования эксперимента. Получено математическое описание объекта автоматизации в виде полиномиальных уравнений регрессии, являющихся статическими моделями процессов восстановления и сепарации. С помощью статических моделей найдены оптимальные значения параметров технологического режима, полученные путем статистической обработки информации о выходных показателях: производительности аппаратов восстановления и сепарация и содержании остаточного хлора в титановой губке.

В работе [4] получены математические модели, описывающие испарение группы летучих веществ из титановой губки. С помощью математических моделей исследован механизм испарения магния и хлорида магния из титановой губки.

Авторами работы [5] разработана математическая модель процесса сепарации, включающая уравнения тепло- и массопереноса в критериальной форме. С использованием модели выполнены расчеты по определению геометрических размеров аппаратов и длительности процесса сепарации для аппаратов различной производительности.

В работе [6] рассмотрена математическая модель, предназначенная для определения длительности и момента окончания сепарации. Концентрация примесей магния и хлорида магния в реакционной массе постоянно уменьшается, и процесс сепарации, в этом смысле, описывается моделью идеального вытеснения вещества во времени. Идеализация модели заключается в замене текущих концентраций примесей в любом сечении аппарата на однородное среднее значение. Для описания процесса испарения примесей предложена экспоненциальная зависимость изменения во времени потребляемой аппаратом сепарации мощности. На основе принятых допущений разработан метод прогнозирования момента окончания сепарации, заключающийся в измерении постоянной времени экспоненты и определении по этой величине длительности и момента окончания каждого единичного процесса.

Авторы работы [7] предложили математическую модель, описывающую особенности теплопередачи в блоке губчатого титана и кинетики парообразования магния и хлорида магния.

В работе [8] получено математическое описание процессов восстановления и вакуумной сепарации в виде уравнений регрессии, с помощью которого определена зависимость цикловой производительности аппаратов восстановления и вакуумной сепарации от конструктивных особенностей реактора и конденсатора.

Дальнейшее развитие теоретического анализа теплового состояния аппарата сепарации предлагается в работе [9], в которой математическая модель представлена системой нелинейных уравнений, описывающих процессы гидродинамики и тепло- и массопереноса в блоке губчатого титана, процессы теплопередачи в печном пространстве, через крышку и стенку аппарата. Получены аналитические выражения для расчёта продолжительности отдельных стадий процесса.

Сложившиеся в математических моделях представления о механизме процесса заключается в том, что при непрерывном вакуумировании и постоянной температуре стенки аппарата примеси испаряются сначала с поверхности блока реакционной массы, а затем из более глубоких слоев, т.е. фронт испарения перемещается в ходе процесса от поверхности блока к его центру. Процесс заканчивается после прогрева титановой губки до максимально возможной температуры. Требуются длительная высокотемпературная выдержка блока реакционной массы и значительные энергозатраты для испарения магния и хлорида магния внутри реакционной массы, в ее центральной части. Из всех характеристик качества губчатого титана только содержание остаточного хлора зависит полностью от протекания процесса сепарации и поэтому является критерием его оценки. Время высокотемпературной выдержки выбирают из практических соображений таким образом, чтобы избежать получения в каждом единичном процессе сепарации титановой губки с повышенным содержанием хлора.

Анализ рассмотренных выше математических моделей показал, что в настоящее время отсутствует теоретическое обоснование для поиска оптимальных температурного и вакуумного режимов сепарации.

Для дальнейшего совершенствования вакуумной сепарации целесообразно рассмотренные в работе [1] эвристические методы объединить в одну общую задачу оптимизации. Примем в качестве критерия оптимальности длительность процесса сепарации. Тогда задача оптимизации вакуумной сепарации формулируется в следующем виде: для промышленного аппарата сепарации найти такие алгоритмы изменения температурного и вакуумного режимов, чтобы за минимальное время сепарации получить титановую губку заданного качества по остаточному содержанию хлора [10].

В общем случае задача оптимизации записывается следующим образом (рис.1).

Рис.1 Схематическое изображение процедуры оптимизации вакуумной сепарации.

Дано: векторы, характеризующие состав ($\bar{A}$) реакционной массы, структуру ($\bar{S}$) губчатого титана, конструкционные параметры ($\bar{K}$) аппарата сепарации, остаточное содержание хлора ($\bar{E}$) в губчатом титане.

Известно: зависимость критерия оптимальности – длительности процесса сепарации (Tc) от оптимизирующих переменных – векторов, характеризующих температурный ($\bar{V}$) и вакуумный ($\bar{P}$) режимы, т.е. $Tc = Tc(\bar{V}, \bar{P})$.

Задано: ограничения на область изменения $\bar{V}$ и $\bar{P}$.

Определить: значения векторов $\bar{V}$ и $\bar{P}$.

Математическая формулировка задачи оптимизации имеет вид:

$$Tc = Tc(\bar{V}, \bar{P}) \longrightarrow \min \Big/ \begin{array}{l} \bar{V} \in \bar{V}_{допуст} \\ \bar{P} \in \bar{P}_{допуст} \end{array}$$

То есть определяются оптимальные значения температурного и вакуумного режимов сепарации из области их допустимых значений $\bar{V} \in \bar{V}_{допуст}$ и $\bar{P} \in \bar{P}_{допуст}$, которые обеспечивают минимальную длительность процесса сепарации.

Решение задачи оптимизации предполагается выполнить методом компьютерного моделирования [10]. Для этого необходима адекватная математическая модель, построение которой возможно развитием ранее предложенных математических моделей [4,5,9] с использованием экспериментальных данных, полученных в процессе эвристических исследований вакуумной сепарации.

Список литературы

1. *Кирин Ю.П., Кирьянов В.В.* Эвристические методы совершенствования вакуумной сепарации губчатого титана. – В настоящем вестнике.
2. *Власов В.В.* Изучение влияния параметров процессов восстановления и сепарации на структуру губчатого титана и полноту его очистки от хлорсодержащих примесей. Автореф. дис. … канд. техн. наук. – Л., 1968. – 30с.
3. *Тимченко Б.С.* Экспериментально-статистическая оптимизация, контроль и автоматизация металлотермии. – М.: Цветметинформация, 1968. – 103 с.
4. *Иодко Э.А.* Испарение группы веществ из пористого тела // Инженерно-физический журнал. – 1979.– Т.37.– №3.– С.449-455.
5. *Андреев А.Е., Мальшин В.М., Кропачев В.К.* Теплофизические исследования процесса вакуумной сепарации губчатого титана // Сб. Вакуумные процессы в цветной металлургии. – Алма-Ата: Наука, 1971. – С. 166-170.
6. *Захаров Ю.А., Поплавко В.Г., Огурцов С.В. и др.* Прогнозирование и оптимизация длительности процесса вакуумной сепарации титана по энергозатратам// Цветные металлы. – 1978. – № 12. – С. 46–48.
7. *Shibata K., Katayama H., Yamaguchi M., Takao S., Kosemura S.* Temperature Measurement and Mathematical Modeling in the Vacuum Distillation Process // Titanium 95: Science and Technology Science and Technology. Proceedings of the Eighth World Conference on Titanium Held at the International Convention Centre, Birmingham, UK. 22-26 October 1995. Edited by P. A. Blenkinsop, W. J. Evans, H. M. Flower, P. 1543-1550.
8. *Путин А.А., Путина О.А., Гулякин А.И., Рымкевич Д.А.* Пути развития магниетермического производства титана // Титан. – 2005. – №1. – С. 10-12.
9. *Затонский А.В.* Модель теплового состояния аппарата сепарации губчатого титана // Сб. Наука в решении проблем Верхнекамского промышленного региона. – Березники: БФ ПГТУ.– 1998. – Вып. 1.– С 47.
10. *Кирин Ю.П., Беккер В.Ф., Затонский А.В.* Совместное проектирование технологии и системы управления вакуумной сепарацией губчатого титана. – Пермь: ПГТУ, 2008. – 124с.

05.13.12

[1]М.А. Кисляков, [2]С.Г. Мосин к.т.н.

Владимирский государственный университет имени
Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых,
факультет информационных технологий,
кафедра вычислительной техники,
Владимир, [1]mkislyakov@vlsu.ru, [2]smosin@vlsu.ru

ПРИМЕНЕНИЕ КРИВЫХ ГИЛЬБЕРТА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ КЛАСТЕРИЗАЦИИ ТОПОЛОГИИ СЕНСОРНОЙ СЕТИ

В работе представлен метод, основанный на применении кривых Гильберта, как частного случая кривых Пеано, для оптимального выделения кластеров сенсорной сети на этапе проектирования. Предложены две модификации метода, которые соответствуют двумерному и трехмерному вариантам топологии сети. Выполнена формализация метода с учетом специфики предметной области. Создана программная модель в системе MATLAB.

Ключевые слова: *сенсорная сеть, кривая Гильберта, автоматизация проектирования, кластеризация.*

В настоящее время широкое распространение получила технология сенсорных сетей (СС). Концепция построения таких систем появилась еще в середине двадцатого века, однако сегодня наблюдается новый технологический прорыв в данном направлении. Успехи в развитии этой области в основном вызваны появлением малогабаритной компонентной базы с низкими параметрами энергопотребления. Это позволяет еще больше расширить сферу применения СС и сделать технологию практически универсальной.

В связи с увеличением объемов разработки и производства СС наиболее острым становится вопрос автоматизации процесса проектирования таких систем. В свою очередь в части автоматизации существует целый спектр нерешенных задач, связанных в основном со спецификой данной технологии. Одной из таких задач является оптимальное размещение узлов сенсорной сети средствами вычислительной техники с учетом таких факторов, как связность узлов, зона покрытия, общее время работы сети и точность данных.

Целевая задача определяет характер расположения узлов СС. Рассмотрим два типовых случая. В первом случае сеть может быть создана на основе одного из случайных законов распределения, что детально отражено в работе [1]. Такой подход имеет место, когда отдельные узлы сети не привязаны к конкретному местоположению. Здесь весь процесс формирования структуры сети, в том числе и процесс разбиения на функциональные кластеры, полностью выполняется самой сетью и не может быть выполнен на этапе проектирования.

Второй случай описывает плановое размещение узлов с учетом специфики конкретной задачи. Здесь каждый узел СС строго закреплен за своей позицией, что позволяет формализовать задачу, провести процедуру выделения кластеров и оптимально разместить узлы-ретрансляторы.

Для объединения узлов в кластеры сенсорную сеть необходимо представить в виде неориентированного графа $G = (V, E)$, где V – множество вершин-узлов СС, E – множество ребер, связывающих узлы. В этом случае задача кластеризации сводится к задаче разделения графа на подграфы. Существует ряд алгоритмов, представленных в работе [2], которые позволяют выполнить данную операцию. Однако отдельно необходимо выделить группу геометрических методов, обладающих двумя основными особенностями. Во-первых, эти методы используют информацию о координатах вершин графа, что позволяет учитывать пространственное расположение узлов СС. Во-вторых, они не учитывают связность графа,

что упрощает реализацию алгоритма. Более того на этапе построения начальной структуры СС информация о связях между узлами отсутствует.

В группе геометрических методов выделяют три основных алгоритма: покоординатное разбиение, рекурсивный инерционный метод деления пополам и деление сети с использованием кривых Пеано. Одним из недостатков первых двух методов является то, что на каждой итерации они учитывают лишь одну размерность, что уменьшает их точность. Третий метод позволяет выполнять обработку сразу во всех размерностях. Тем самым использование кривых Пеано является наиболее рациональным способом разбиения графа по координатам вершин.

Кривые Пеано – это кривые, полностью заполняющие области больших размерностей, таких как квадрат или куб [3]. Особенностью данных кривых является обеспечение минимального расстояния между точками в *n*-мерном пространстве при близости их проекций на самой кривой. Частным случаем кривых Пеано, являются кривые Гильберта. В работе [4] описаны способы построения данных кривых различных размерностей.

В работе предложен подход к решению задачи кластеризации топологии сенсорной сети в двумерном и трехмерном пространстве с использованием кривых Гильберта. Тем самым задача разбиения графа на подграфы сводится к построению кривой Гильберта, проецированию вершин графа на нее и разделению кривой на равные отрезки. Группа точек, принадлежащая каждому из отрезков, будет соответствовать кластеру СС.

Пусть d – кривая Гильберта, тогда $d = \{d_1, \ldots, d_m\}$, где m – количество проектируемых кластеров СС. Множество вершин графа представим в виде $V = \{v_1, \ldots, v_n\}$, где n – количество узлов СС. Добавим множество проекций вершин графа на кривую Гильберта $V_c = \{v_{c1}, \ldots, v_{cn}\}$. Тогда принадлежность узла i к кластеру j будет определяться выражением (1).

$$v_{ci} \subset d_j, i \in \{1, \ldots, n\}, j \in \{1, \ldots, m\} \quad (1)$$

При построении начальной структуры СС необходимо использовать один из двух вариантов кривых Гильберта: двумерный и трехмерный. В случае двумерного представления каждая вершина v_i графа имеет две координаты v_{xi} и v_{yi}. При построении кривых удобно использовать нормированный базис. При этом плоскость, заполняемая кривой, представляет собой единичный квадрат. Далее необходимо провести нормирование всех координат вершин графа так, что $v'_{xi}, v'_{yi} \subset [0 \ldots 1]$, где v'_{xi}, v'_{yi} – нормированные значения координат v_{xi} и v_{yi}, соответственно.

Отдельно следует отметить метод проецирования вершин графа на кривую Гильберта. В теории кривая будет полностью занимать плоскость квадрата, поэтому любая вершина графа уже будет принадлежать ей. В общем случае данное условие может быть выполнено при $p \to \infty$, где p – порядок кривой. На практике построение кривых высоких порядков может быть затруднительно в силу высоких вычислительных затрат. Поэтому порядок кривой следует выбирать в соответствии с требуемым уровнем точности кластеризации.

Пример. При проектировании СС достаточным является размер шага равный 10 м. Тогда при создании СС с максимальным диаметром зоны покрытия 1 км будет сформировано 100 возможных зон размещения узла по каждой из осей координат, всего 10000 зон. При построении кривой Гильберта 8-го порядка покрывается 128 зон по каждой из осей, что соответствует 16384 зонам в плоскости. Тем самым кривой 8-го порядка достаточно для проектирования СС с радиусом, эквивалентным 1 км.

При ограничении порядка каждая вершина кривой Гильберта будет соответствовать уже не точке на плоскости, а центру зоны, в качестве которой будет выступать квадрат. Введем множество зон $Q = \{q_1, \ldots, q_l\}$ и множество их центров $Q_t = \{q_{t1}, \ldots, q_{tl}\}$, где l – количество зон равное числу вершин кривой Гильберта, так как кривая должна пройти через центры

всех зон нормированной плоскости. В этом случае выражение (1) будет преобразовано в вид (2).

$$v_i \in q_k, q_k \subset d_j, i \in \{1,\ldots,n\}, j \in \{1,\ldots,m\}, k \in \{1,\ldots,l\} \quad (2)$$

Пример. Пусть $n = 100$, а узлы СС размещены в виде двух сгруппированных областей. Координаты узлов рассчитаны на основе равномерного закона распределения. Построим в системе *MATLAB* двумерную кривую Гильберта 3-го порядка и запустим алгоритм поиска кластеров СС. На рис. 1 представлена кривая Гильберта с сеткой зон плоскости и двумя группами узлов, а также график распределения узлов СС по центрам зон, соответствующих вершинам кривой.

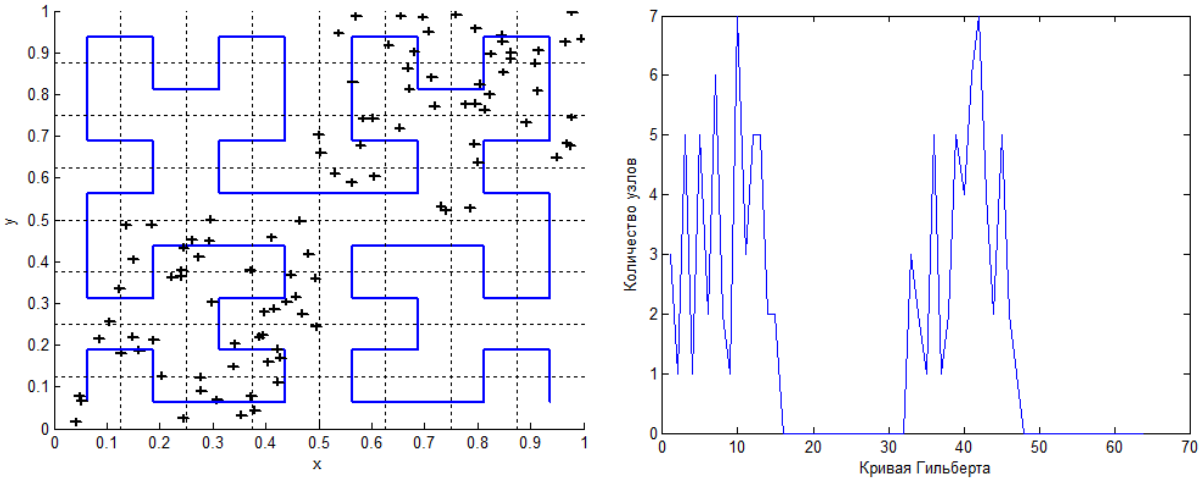


Рис. 1– Двумерная кривая Гильберта 3-го порядка с графиком распределения узлов

В ряде случаев двумерной модели сети недостаточно для получения точной топологии. Тогда используют второй вариант кривой Гильберта, которая определяет процесс кластеризации для трехмерного пространства. Здесь к каждой вершине v_i графа необходимо добавить дополнительную координату v_{zi}, а нормированный базис представить в виде единичного куба, который в зависимости от порядка кривой будет делиться на подкубы, выступающие в качестве зон. Кривая d пройдет через центр каждого подкуба, что представлено на рис. 2.

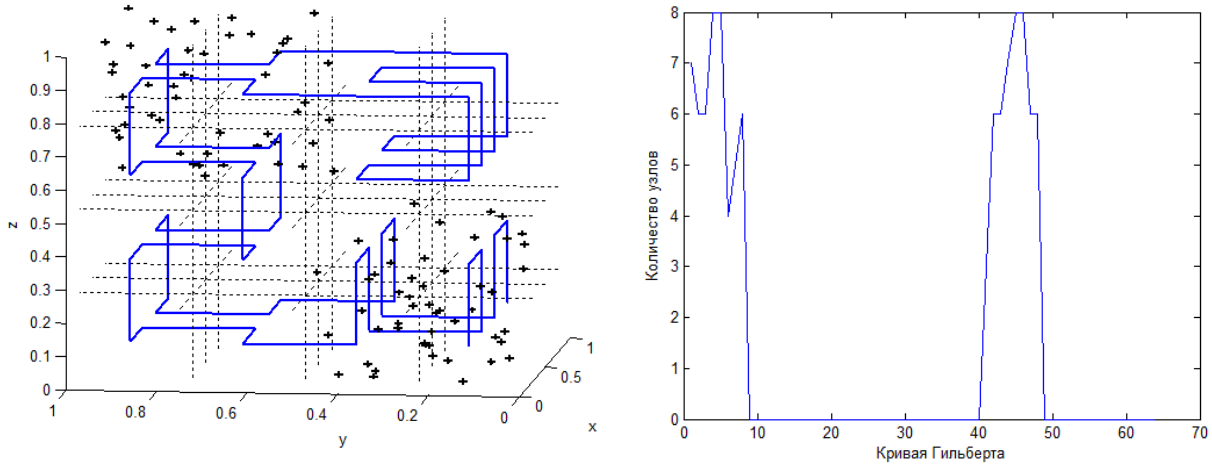


Рис. 2– Трехмерная кривая Гильберта 2-го порядка с графиком распределения узлов

Как видно из графиков кривые Гильберта позволяют выделить группы узлов с минимальным расстоянием между ними, что в свою очередь позволяет объединить их в кластеры.

В центр каждого кластера необходимо поместить узел-ретранслятор с целью организации взаимодействия с другими кластерами и основным шлюзом сети. Координаты ретранслятора

также могут быть выбраны с помощью кривой Гильберта, а именно, как математическое ожидание количества узлов СС, соответствующих каждому построенному кластеру сети.

Заключение. Метод, основанный на применении кривых Гильберта, обеспечивает выполнение процесса кластеризации узлов сенсорной сети. Процедура разбиения на кластеры является одной из подзадач этапа формирования базовой структуры сети, выделенного, как часть маршрута проектирования СС, предложенного в работе [5]. Следующим этапом является оценка параметров надежности и энергоэффективности построенной топологии в соответствии с критериями, сформулированными на этапе ввода начальных требований к сенсорной сети.

Работа выполнена в рамках проекта № 7.4151.2011 госзадания Министерства образования и науки РФ.

Список литературы

1. *Мочалов М.А.*, *Турута Е.Н.*, Стратегии размещения узлов сенсорной сети // Труды Международной научно-технической конференции INTERMATIC-2010. – 2010. – часть 3. – С. 211–216.
2. *Schloegel K.*, *Karypis G.*, *Kumar V.*, Graph Partitioning for High Performance Scientific Simulations // Army High Performance Computing Research Center. – 2000. – P. 39.
3. *James W.C.*; *William P.T.*, Group Invariant Peano Curves // Geometry & Topology 11. – 2007. – P. 1315–1355.
4. *Alber J.*, *Niedermeier R.*, On Multi-Dimensional Hilbert Indexings // LCNS. – Vol. 1449. – 1998. – P. 329–338.
5. *Кисляков М.А.*, *Мосин С.Г.*, *Савенкова В.В.*, Проектирование беспроводных сенсорных сетей // Научно-технический журнал «Приборостроение». – №8. – 2012. – С. 15–18.

05.13.18

Е.А. Кудашова, Е.Э. Звягинцева

Ульяновский государственный университет,
факультет математики и информационных технологий,
кафедра информационной безопасности и теории управления,
Ульяновск, mtu@ulsu.ru

ОБ УПРАВЛЕНИИ МЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ С ЦИКЛИЧЕСКИМИ КООРДИНАТАМИ[1]

Среди управляемых механических систем определенный класс составляют голономные механические системы с циклическими координатами. Для таких систем обоснованы модели управления непрерывного, кусочно-непрерывного и дискретного типов.

Ключевые слова: *механическая система, позиционные и циклические координаты, обобщенное стационарное движение, стабилизация, управление.*

Рассмотрим механическую систему с нестационарными, голономными и идеальными связями, положение которой определяется n обобщенными координатами $q^{'} = (q_1, q_2, ..., q_n)$ ($(\ )^{'}$ - операция транспонирования), при этом кинетическая энергия системы T не зависит явно от последних $(n-m)$ координат $(0 < m < n, n > 1)$. Следовательно, первые m координат являются позиционными, остальные – циклическими [1]. Обозначим

$$q = (q_1, q_2, ..., q_m)^{'},\ z = (q_{m+1}, ..., q_n)^{'} = (z_1, z_2, ..., z_{n-m})^{'}$$

Соответственно, полагаем, что кинетическая энергия системы T имеет вид

$$T(t,q,\dot{q},\dot{z}) = \frac{1}{2}\dot{q}^{'}A(t,q)\dot{q} + \dot{q}^{'}B(t,q)\dot{z} + \frac{1}{2}\dot{z}^{'}C(t,q)\dot{z} - \dot{q}^{'}g(t,q) - \dot{z}^{'}f(t,q) + T_0(t,q),$$

где матрицы $A(t,q)$ и $C(t,q)$ размерностей $m \times m$ и $(n-m)\times(n-m)$ являются положительно-определенными, матрица $B(t,q)$ имеет размерность $m \times (n-m)$, $g(t,q)$ и $f(t,q)$ - матрицы-столбцы размерности $m \times 1$ и $(n-m)\times 1$ соответственно, $T_0(t,q)$ – скалярная функция. Предполагаем, что указанные функции переменных (t,q) определены, дважды непрерывно-дифференцируемы в области $R^+ \times \Gamma_1$, $\Gamma_1 = \{q \in R^n : \|q\| < H_1, 0 < H_1 < +\infty\}$, где $\|q\|$ – евклидова норма вектора $q \in R^n$, ограничены вместе со своими производными в каждой области $R^+ \times K$, $K \subset \Gamma_1$ – компактное множество, а также $detA \geq \alpha_0$, $detC \geq \alpha_0$, $det(A - B^{'}C^{-1}B) \geq \alpha_0 = const > 0$ при $(t,q) \in R^+ \times \Gamma_1$.

Допустим, что движение системы происходит под действием обобщенных сил $Q = (Q^1, Q^2)$ и управлений $U = (U^1, U^2)$ по координатам q и z соответственно. Предполагаем, что силы $Q = Q(t,q,\dot{q})$ определены и непрерывны в области $R^+ \times \Gamma_1 \times \Gamma_2$, $\Gamma_2 = \{\dot{q} \in R^n : \|\dot{q}\| < H_2, 0 < H_2 \leq +\infty\}$, ограничены при $(t,q,\dot{q}) \in R^n \times K$, $K \subset \Gamma_1 \times \Gamma_2$ – компактное множество.

Уравнения движения системы в форме Лагранжа имеют вид [1]

[1] Исследование выполнено при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, соглашение 14.B37.21.0373 «Развитие методов и алгоритмов исследования задач об управлении нелинейными механическими системами и компьютерное моделирование управляемого движения системы тел».

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}}\right)-\frac{\partial T}{\partial q}=Q^1+U^1 \quad \frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{z}}\right)=Q^2+U^2, \tag{1}$$

Введём переменные

$$p=\frac{\partial T}{\partial \dot{z}}=\dot{q}'B(t,q)+\dot{z}'C(t,q)-f(t,q). \tag{2}$$

Разрешая относительно $\dot{z}$, получаем следующее соотношение

$$\dot{z}=C^{-1}(t,q)(p+f(t,q)-B'(t,q)\dot{q}). \tag{3}$$

Из равенств (2) и (3) находим, что $\partial T/\partial \dot{z}$ и $\dot{z}$ являются ограниченными, равномерно непрерывными функциями по $(t,q,\dot{q},\dot{z})\in R^+\times\Gamma_1\times\Gamma_2\times\Gamma_3$ и $(t,q,\dot{q},p)\in R^+\times\Gamma_1\times\Gamma_2\times\Gamma_4$, $\Gamma_3=\{z\in R^m : \|z\|\le H_3, 0<H_3<+\infty\}$, $\Gamma_4=\{p\in R^m : \|p\|\le H_4, 0<H_4<+\infty\}$.

Используя эти соотношения, определим функцию Рауса в следующей форме [1]

$$R=\left(T-\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{z}}\right)\dot{z}\right)\Bigg|_{\dot{z}=C^{-1}(p+f-B'\dot{q})}.$$

Представим ее в виде

$$R=R_2+R_1-W,$$

$$R_2(t,q,\dot{q})=\frac{1}{2}\dot{q}'F\dot{q}, \quad F(t,q)=A-BC^{-1}B',$$

$$R_1(t,q,\dot{q},p)=E'\dot{q}, \quad E(t,q,p)=B'C^{-1}(p+f)-g,$$

$$W(t,q,p)=\frac{1}{2}(p+f)'C^{-1}(p+f)-T_0(t,q),$$

где матрица F является положительно-определенной, функция W называется приведенной потенциальной энергией.

Уравнения движения (1) можно записать в виде уравнений Рауса [1]

$$\begin{gathered}\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial R_2}{\partial \dot{q}}\right)-\frac{\partial R_2}{\partial q}=-\frac{\partial W}{\partial q}-G'\dot{q}-\frac{\partial E}{\partial t}-\left(\frac{\partial E}{\partial p}\right)'(Q^2+U^2)+Q^1+U^1,\\ \frac{dp}{dt}\equiv Q^2+U^2,\end{gathered} \tag{4}$$

где G – матрица определяется равенством

$$G(t,q,p)=\frac{\partial E}{\partial q'}-\frac{\partial E'}{\partial q}=-G'(t,q,p).$$

Приведем эти уравнения к системе уравнений второго порядка

$$F(t,q)\ddot{q}=\tilde{Q}(t,q,\dot{q},p)-\left(\frac{\partial E}{\partial p}\right)U^2+U^1, \quad \frac{dp}{dt}=Q^2+U^2, \tag{5}$$

где в обозначение $\tilde{Q}(t,q,\dot{q},p)$ включены все слагаемые из (4), кроме выделенных слагаемых. Заметим, что из-за наличия перекрестных связей возможно управление по позиционным координатам управляющими воздействиями U^2 по циклическим координатам.

Результаты из [2, 3] позволяют решить задачу о приведении системы (5) в заданное программное движение

$$q=q^0(t), \quad \dot{q}=\dot{q}^0(t), \quad p=p^0(t),$$

$$z^0(t)=z(t_0)+\int_{t_0}^{t}(C^{-1}(\tau,q(\tau))(p(\tau)+f(\tau,q(\tau))-B(\tau,q(\tau))\dot{q}(\tau)d\tau,$$

непрерывными и кусочно-непрерывными управляющими воздействиями, по принципу декомпозиции.

Определим такое решение в случае программного движения с постоянными циклическими импульсами $p = p_0 = \text{const}$.

Допустим, что при

$$U^1 = U_0^1(t), \quad Q^2 \equiv 0, \quad U^2 = U^2(t) \tag{6}$$

система (1) имеет заданное программное движение

$$q = q^0(t), \quad q = \dot{q}^0(t), \quad p = p^0$$
$$z^0(t) = z^0(t_0) + \int_{t_0}^{t} C^{-1}(\tau, q(\tau))(p^0 + f(\tau, q(\tau)) - B(\tau, q(\tau))\dot{q}^0(\tau))d\tau \tag{7}$$

Введем отклонения

$$x = q - q^0(t), \quad \dot{x} = \dot{q} - \dot{q}^0(t), \quad y = p - p^0$$

Уравнения движения в отклонениях согласно уравнениям (5) будут иметь следующий вид

$$F_1(t,x)\ddot{x} = [\tilde{Q}(t,q,\dot{q},p) - F(t,q)\ddot{q}^0(t) - (\frac{dE}{d\gamma}(t,q,\dot{q},p))'U^2] + \Delta U^1$$
$$\frac{dy}{dt} = U^2 \tag{8}$$

где $F_1 = (t,x) = F(t, q^0(t) + x)$, а выражение в квадратных скобках вычисляется при значениях $q = q^0(t) + x, \quad \dot{q} = \dot{q}^0(t) + x, \quad p = p^0 + y, \ \Delta U_1 = U_1 - U_1^0(t)$ - есть управляющее воздействие.

Теоремы из [3] позволяют разделить задачу о стабилизации движения (7) непрерывными управлениями на задачи о стабилизации каждой подсистемы из (8) в отдельности.

Задача о стабилизации по $y = p - p^0$ второй подсистемы решается управлением вида $U^2 = Py$, где $P = const$ есть асимптотически устойчивая матрица. Задачи о стабилизации первой подсистемы, а с ней и всей системы, сведется тогда к такой же задаче для системы меньшей размерности

$$F_1(t,x)\ddot{x} = [\tilde{Q}(t,q,\dot{q},p^0) - F(t,q)\ddot{q}^0(t)] + \Delta U_3^1$$

для которой применимы соответствующие построения из работы [3].

Соответственно, имеем следующие результаты.

Результат 1. Задача о стабилизации программного движения (7) системы (4) решается непрерывными уравнениями вида

$$U^1 = U_0^1(t) + \Delta U^1 = U_0^1(t) + B(H\dot{x} + g(t,x)), \quad U_2 = Py \tag{9}$$

где $H \in R^{m \times m}$ и $g : R^+ \times R^m \to R^m$ есть характеристики обратной связи.

Применение релейных управлений согласно [3,4] позволяет решить задачу о стабилизации движения (7) и при невыполнении условий (6).

Результат 2. Задача о стабилизации программного движения (7) системы (4) решается управлением вида

$$U^1 = B\Delta(\dot{x} + \psi(t,x)), \quad U^2 = P\Delta y \tag{10}$$
$$\Delta' = (sign(\dot{x} + \psi(t,x))_1, sign(\dot{x} + \psi(t,x))_2, ..., (\dot{x} + \psi(t,x))_m)$$
$$\Delta y' = sign\ y_1, ..., sign\ y_{n-m})$$

В силу конструктивных особенностей управляемой механической системы, информация между объектом управления и управляющими органами может прерываться в дискретные моменты времени, отсюда возникает необходимость обоснования дискретных моделей управления.

Рассмотрим реализацию управлений (9) и (10) в виде дискретных моделей.

Первый тип. Шаговое управление

Под таким управлением понимают управление, которое может принимать дискретные значения $l_k \in \square$, $h_k > 0$ - шаг задержки, $k = \overline{1,n}$.

Алгоритм построения такого управления состоит в следующем:

1. Задаем некоторый набор достаточно малых положительных значений $(\Delta_1, \Delta_2, ..., \Delta_n)$.
2. Для начального момента $t_0 \geq 0$ и начального положения системы $x_0 = q_0 - q(t_0), \quad y = p - p(t_0)$ определяем начальные значения U(0) из неравенства

$$\left|U_k^g(0) - U_k(t_0, y_0)\right| \leq \frac{h_k}{2} + \Delta_k$$

3. Последующие дискретные значения времени $t_l \geq t_0, l = \overline{1,n}$ задаем из условия нарушения неравенства

$$\left|U_k^g(l-1) - U_k(t_l, \tilde{x}(t_l, t_0, x_0), y(t_l, t_0, x_0))\right| \leq \frac{h_k}{2} + \Delta_k,$$

где $\tilde{x}(t_l, t_0, x_0)$ - движение системы.

4. Соответствующие значения дискретного времени определяем посредству равенств
5. $U_k^g(l) = U_k^g(l-1) + h_k \operatorname{sgn}(U_k[t_l] - U_k^g(l-1))$

Таким образом, пошаговое управление задается в виде

$$U_k(t) = U_k^g(l-1), \quad t_{l-1} \leq t < t_l \tag{11}$$

Основанием для того, чтобы это управление обеспечивало стабилизацию программного движения $(q^0(t), \dot{q}^0(t), p^0)$ системы (2) является следующее утверждение.

Утверждение 1. Существует такой набор шагов h_k задания обобщенных управлений $U_k^g = l_k h_k, \quad k = \overline{1,n}$, при которых управление (11) обеспечивает асимптотическую устойчивость невозмущенного движения $\dot{x} = x = 0, y = 0$ системы (8), или соответствующего программного движения $(q^0(t), \dot{q}^0(t), p^0)$.

Доказательство утверждения проводится с использованием той же функции Ляпунова, что и при выводе утверждения 1. Различие состоит в том, что используется не соответствующая общая теорема из [3], а непосредственно теорема Ляпунова об асимптотической устойчивости.

Второй тип управления. Управление, дискретное по времени с промежутком h

Для базовых управлений (9) и (10) можно определить две модели управления

$$\begin{aligned} U_l^{g1} &= U(t, x, \dot{x}, y): \quad x = x(t_l), \dot{x} = \dot{x}(t_l), \quad y = y(t_l), \quad t_l = lh \\ U_l^{g2} &= U(t, x, \dot{x}, y): \quad x = x(t_l), \dot{x} = \dot{x}(t_l), \quad y = y(t_l), \quad t_l = lh \end{aligned} \tag{12}$$

Первая модель управления представляет собой кусочно-непрерывную по t функцию; вторая – кусочно-постоянную функцию.

Используя ту же функцию Ляпунова, что и ранее, можно доказать следующее утверждение.

Утверждение 2. Существует число $h > 0$, такое, что управление (12) стабилизирует невозмущенное движение по $\dot{x} = x = 0, \quad y = 0$ системы (8) или заданное программное движение $(q^0(t), \dot{q}^0(t), p^0)$ системы (4).

Заключение.

Исследована задача о стабилизации обобщенного стационарного движения голономной механической системы с нестационарными, голономными, идеальными связями, положение которой определяется n обобщенными координатами, из которых m – циклические. Обоснованы новые типы непрерывных, кусочно-непрерывных и дискретных управлений, обеспечивающих асимптотическую устойчивость такого движения рассматриваемой системы.

Список литературы

1. *Карапетян А.В.* Устойчивость стационарных движений / А.В. Карапетян – М.: Эдиторал УРСС, 1998. – 168с.
2. *Андреев А.С., Бойкова Т.А.* Об устойчивости неустановившегося движения механической системы // ПММ, 2004 – Т.68, вып. 4. – С. 678-686.
3. *Андреев А.С., Дмитриева О.Г, Петровичева Ю.В.* Об устойчивости нулевого решения системы с разрывной правой частью // Научно-технический вестник Поволжья, 2011. – № 1. – С. 15-21.
4. *Андреев А.С., Артемова А.О.* Об управлении движением голономной механической системы // Научно-технический вестник Поволжья, 2012. – № 6. – С. 80-87.

05.01.01

Л.П. Лагодина

Киевская государственная академия водного транспорта
им. гетьмана Петра Конашевича-Сагайдачного,
факультет экономики транспорта, кафедра информационных технологий,
Киев, mily@rambler.ru

СВОЙСТВА ВЕСОВЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ В ПОЛИКООРДИНАТНЫХ ОТОБРАЖЕНИЯХ

Предлагается анализ и использование весовых коэффициентов в параметрических поликоординатных отображениях.

Ключевые слова: *гладкая кривая, весовые коэффициенты, параметрические поликоординатные отображения.*

Постановка проблемы. Одним из новых методов моделирования гладких кривых и поверхностей является метод векторно-параметрических поликоординатных отображений. При этом не всегда такое отображение дает адекватные результаты. Для устранения этих недостатков можно предложить использование весовых коэффициентов, которые исследуются в работе.

Анализ последних исследований. Обычные поликоординатные отображения гладких кривых, известные из [1,2,3,4] удовлетворительно работают с кривыми на плоскости и в пространстве, но имеют некоторые недостатки адекватности отображения.

Формулирование целей статьи. Для предотвращения указанного недостатка предлагается применить весовые коэффициенты в зависимости от желаемого результата и исследовать их свойства.

Основная часть. На основе анализа свойств поликоординатного отображения видно, что для его улучшения крайне необходимо ввести специальные весовые коэффициенты.

Рассмотрим варианты этих коэффициентов. Формулу поликоординатного отображения по одной координате перепишем в следующем более упрощенном виде:

$$S = \sum_{i=1}^{M} w_{i1}[\frac{w_{i2}\Delta Y_i}{w_{i3}\Delta y_i} - 1]^2 \to \min , \qquad (1)$$

где M - количество базовых поликоординатных прямых, которые задаются $M+1$ - точками;

Δy_i - разница по ординате между первичным поликоординатным базисом и заданной точкой,

ΔY_i - разница между вторичным поликоординатным базисом и искомой точкой,

w_{i1}, w_{i2}, w_{i3} - весовые коэффициенты.

Проанализируем влияние весовых коэффициентов. Математический анализ коэффициентов w_{i2} и w_{i3} показывает, что их можно заменить одним коэффициентом, например, w_{i2}.

Формула (1) перепишется в виде:

$$S = \sum_{i-1}^{M} w_{i1}[w_{i2}\frac{\Delta Y_i}{\Delta y_i} - 1]^2 \to \min \qquad (2)$$

Рассмотрим разницу между коэффициентами w_{i1} и w_{i2}.

Если принять $w_{i1} = 1$, то получим:

$$S = \sum_{i-1}^{M} [w_{i2} \frac{\Delta Y_i}{\Delta y_i} - 1]^2 \to \min \quad (3)$$

Если принять $w_{i2} = 1$, то получим:

$$S = \sum_{i-1}^{M} [w_{i1} \frac{\Delta Y_i}{\Delta y_i} - w_{i1} 1]^2 \to \min \quad (4)$$

Сравнивая формулы (3) и (4), видим, что в формуле (3) весовой коэффициент действует только на отношения $\frac{\Delta Y_i}{\Delta y_i}$, но не действует на вычитаемое 1, а это не дает правильного соотношения между первым и вторым членом в скобках.

Таким образом, следует отметить, что имеет смысл только формула (4) в виде:

$$S = \sum_{i-1}^{M} w_i [\frac{\Delta Y_i}{\Delta y_i} - 1]^2 \to \min \quad (5)$$

Далее рассмотрим геометрическое значение коэффициента w_i.

Так как величина S является суммой величин разности $\frac{\Delta Y_i}{\Delta y_i}$ и единицы, то с помощью весового коэффициента w_i можно увеличить или уменьшить значение каждого члена суммы.

Для того, чтобы звено поликоординатного базиса тем меньше влияло на преобразование точки, чем дальше она находится, можно ввести весовой коэффициент, учитывающий расстояние от середины звена поликоординатного базиса:

$$w_{iD} = \frac{1}{\left| x_{iC} - x_{Tj} \right|} \quad (6)$$

где x_{iC} - абсцисса середины i-го звена базиса,

x_{Tj} - абсцисса преобразуемой точки.

Далее соответственно запишем:

$$x_{iC} = \frac{x_{i+1} + x_i}{2},$$

где x_i - абсцисса точки поликоординатного базиса.

Но этот коэффициент еще вовсе не дает полной картины процесса отображения. Приведем пример (рис. 1).

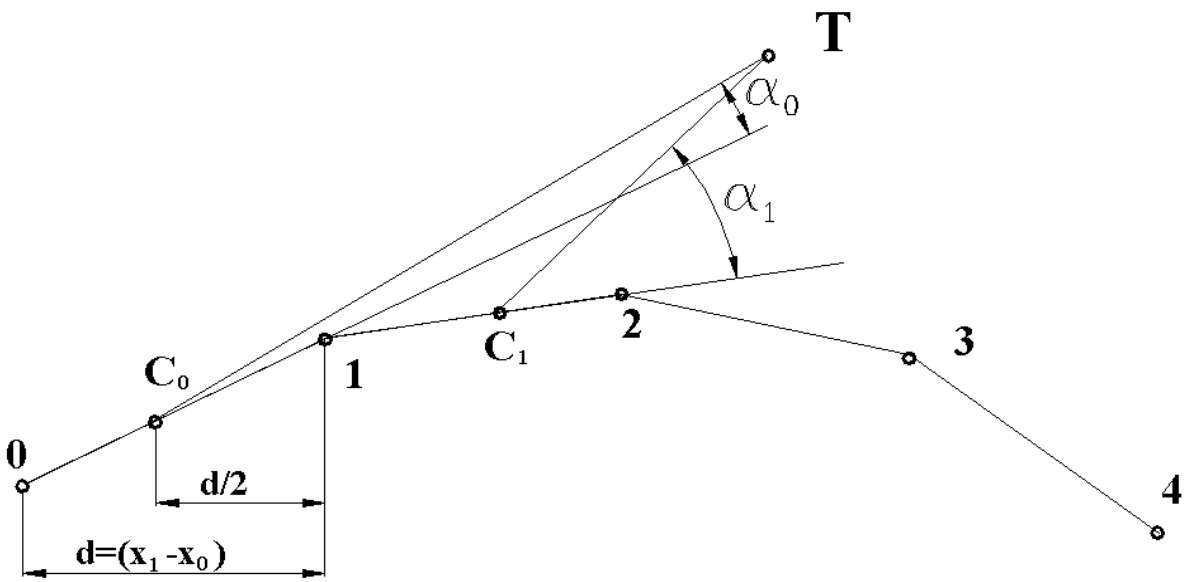


Рис. 1- Зависимость угла α точки T от соответствующего звена базиса

Как видно на рисунке 1, на продолжении звена 01, которое находится далеко от точки, расстояние точки T до этой прямой является или нулем, или приближается к нулю. Поэтому коэффициент w_i по формуле (6) явно недостаточен. Предлагается ввести коэффициент на основе угла наклона α_T между прямой звена базиса и линией, которая соединяет середину звена базиса с данной точкой T (рис. 2). Можно взять любые функции угла: $\sin\alpha_T$, $\cos\alpha_T$, $tg\alpha_T$ или сам угол α_T. На основе этих функций можно предложить следующие весовые коэффициенты:

$$w_{i\alpha} = \frac{1}{|\sin\alpha_{Tj}|},\ 1 \le w_{i\alpha} \le \infty; \tag{7}$$

$$w_{i\alpha} = \frac{1}{|tg\,\alpha_{Tj}|},\ 0 \le w_{i\alpha} \le \infty; \tag{8}$$

$$w_{i\alpha} = \cos\alpha_{Tj},\ 0 \le w_{i\alpha} \le 1; \tag{9}$$

$$w_{i\alpha} = \frac{1}{|\alpha_{Tj}|},\ \tfrac{2}{\pi} \le w_{i\alpha} \le \infty; \tag{10}$$

Из этих предложенных коэффициентов наиболее приемлемым будет весовой коэффициент по формуле (8), потому что он изменяется от 0 до ∞. Все остальные имеют ограниченный диапазон изменения.

Кроме того, можно ввести еще один весовой коэффициент, учитывающий длину звена ломаной базиса по абсциссе x:

$$w_{iK} = |x_{i+1} - x_i|. \tag{11}$$

Чем меньше значение длины $x_{i+1} - x_i$, тем меньше должен быть весовой коэффициент w_{iK}. Этот весовой коэффициент будет нужен только тогда, когда длины звеньев базиса будут значительно отличаться (более чем в 3 раза).

Таким образом, общий весовой коэффициент будет следующим:

$$w_{iz} = w_{iD}^{P} \cdot w_{i\alpha}^{Q} \cdot w_{iK}^{R} = \frac{1}{[\frac{x_{i+1} + x_i}{2} - x_{Tj}]^P [tg\alpha_{Tj}]^Q} \cdot \left| x_{i+1} - x_i \right|^R, \quad (12)$$

где P, Q и R - усиливающие степени, величины которые надо подбирать экспериментальным путем.

Выводы. Полученные результаты позволили усовершенствовать метод векторно-параметрических поликоординатных отображений путем введения специальных весовых коэффициентов, что обеспечивает более адекватные отображения.

Список литературы

1. *Бадаев Ю.И.* Поликоординатный метод в прикладной геометрии и компьютерной графике. – К.: Просвіта, 2006. – 173с.
2. *Бадаєв Ю.І.* Криві на основі полікоординатних В-сплайнів // Прикл. геометрія та інж. графіка. Праці. Таврійська держ. агротехн. академія. Мелітополь. – 2004. – Вип. 4, т. 28. – С. 16-21.
3. *Бадаєв Ю.І., Лагодіна Л.П.* Апроксимація кривих на площині методом полікоординатних перетворень // Зб. наукових праць. Геометричне та комп'ютерне моделювання. Харк. держ. Університет харчування та торгівлі. Харків. – 2007. – Вип. 17. – С. 103-107.
4. *Бадаєв Ю.І., Чорна Л.С.* Полікоординатні векторно-параметричні криві на площині // Прикл. геометрія та інж. графіка. Праці. Таврійська держ. агротехнічна академія. Мелітополь. – 2006. – Вип. 4, т. 19. – С. 25-28.

05.13.01

Р.И. Насыров

Камская государственная инженерно-экономическая академия,
факультет автоматизации и прогрессивных технологий,
кафедра прикладной информатики и управления,
Набережные Челны, rinasyrov@gmail.com

ЦЕЛЕВАЯ ФУНКЦИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ПРОГРАММЫ ОЦЕНКИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НАДЕЖНОСТИ НАКОПИТЕЛЕЙ ИНФОРМАЦИИ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯМИ

Сформулирована целевая функция разработки программы оценки и прогнозирования надежности накопителей информации в системах управления предприятиями с учетом экономического аспекта. Подробно рассмотрен экономический смысл используемых при этом терминов. Показано, что именно правильно указанная точка зрения позволяет с помощью целевой функции обосновать эффективность инвестирования в разработку данной программы в зависимости от степени важности накопителей информации в компьютерных системах управления.

Ключевые слова: *целевая функция, накопитель информации, система управления, надежность.*

Целевая функция [target function] в экстремальных задачах – функция, минимум или максимум которой требуется найти [1]. Это ключевое понятие оптимального программирования. Найдя экстремум целевой функции и, следовательно, определив значения управляемых переменных, которые к нему приводят, тем самым находят оптимальное решение задачи.

Однако в экономике, в отличие от информатики, смысл используемых терминов может быть несколько иным. Из-за этого при экономическом обосновании необходимости и целесообразности проведения научных исследований возникают трудности.

Поэтому задача данной работы – такое формулирование целевой функции разработки программы прогнозирования надежности накопителей информации в системах управления предприятиями, которое будет учитывать и экономический аспект. Для этого сначала предлагается рассмотреть экономический смысл используемых терминов более подробно [2]:

Цель – ожидаемое состояние; то к чему стремятся; конечный результат какого-либо действия.

Функция – круг деятельности; деятельность.

Система – это описание предмета, явления с определенной точки зрения.

Целевая функция системы – сочетание функции системы с целями создателя системы.

Критерии – требования, показатели оценки степени или качества выполнения задачи, достижения цели.

В каждом предмете или явлении столько систем, сколько возможных точек зрения на него. Не уточнив общей точки зрения, с которой собираются вести описание, бессмысленно браться за совместное решение задачи.

Любая неодушевленная система не может чего-то хотеть, желать, ей присуще только какое-нибудь функциональное предназначение, т.е. она несет какую-то функцию. Люди, напротив, помимо того, что являются носителями каких-то функций, несут в себе стремление к чему-то, т.е. имеют цель. Можно говорить о цели человека, трудового коллектива, но нельзя говорить о цели автомобиля или завода, у них есть только функция. Системы же, объединяющие людей и различные механизмы, в том числе хозяйственные,

социальные, политические, должны выполнять функцию, соответствующую той цели, которую преследует человек, создавший эту организацию или механизм.

В формировании целевой функции реализуется закон обмена целями. Цели и производителя и потребителя могут быть достигнуты только в том случае, если оба партнера обменяются своими возможностями, своими функциями, т.е. производитель производит товары или услуги, а потребитель расплачивается средствами, необходимыми для повышения благосостояния производителя.

Но как можно оценить достигнута цель или нет, как выполняется целевая функция? Только выставив к ним систему оценочных показателей – систему критериев. Язык критериев – степень чего-либо, уровень, величина. Например: уровень рентабельности, рентабельность не ниже 15%.

Существует правило: критерии оценки достижения нижележащей цели должны обязательно содержать и критерии оценки достижения конечной цели. Например, функцией ремонтных служб предприятия является ремонт оборудования. Но было бы грубой ошибкой измерять результат их работы объемом выполненных ремонтных работ (хотя именно такой показатель долго существовал). Основной целью является выпуск продукции на этом оборудовании. Поэтому качество работы ремонтников должно измеряться и количеством продукции, потерянной из-за неисправности оборудования.

Аналогичный подход наблюдается и в официальных документах. Например, под стратегией развития электронной промышленности России понимается взаимоувязанная по целям, задачам, срокам реализации, финансовому обеспечению и мерам государственной поддержки совокупность целевых функций, принципов и решений, которые должны реализовываться в федеральных целевых, межотраслевых и отраслевых программах, инвестиционных проектах и комплексах внепрограммных мероприятий, обеспечивающих динамичное развитие отрасли на перспективу [3].

С технической точки зрения поступают так же. Например, в информационной системе общего пользования предусматривается подсистема безопасности, для которой разрабатывается задание по безопасности, являющееся составной частью технического задания на разработку информационной системы общего пользования, которое включает в себя описание подсистемы безопасности, включая систему защиты информации и систему антивирусной защиты программных средств (в том числе описание целевых функций, механизмов и используемых средств защиты, а также перечень защищаемых компонентов) [4].

Однако при подходе с экономической точки зрения существуют специфические трудности, в частности, нельзя заниматься экспериментированием и подбором нужных параметров на людях, коллективах или обществе в целом. Можно только моделировать экономические процессы, которые могут быть весьма сложными и многопараметрическими, а данных недостаточно. Общим недостатком используемых программных продуктов, например, оценки инвестиционных проектов является то, что все указанные продукты являются расчетными моделями, не представляя ни одного алгоритма оптимизации. Между тем, в различных случаях возможно решение задачи, например, линейного программирования, при этом один из финансовых показателей является целевой функцией, а на остальные заданы ограничения [5].

С научной точки зрения специальность «Системный анализ, управление и обработка информации», в рамках которой выполнено исследование, как раз занимается проблемами разработки и применения методов системного анализа сложных прикладных объектов исследования, обработки информации, целенаправленного воздействия человека на объекты исследования, включая вопросы анализа, моделирования, оптимизации, совершенствования управления и принятия решений, с целью повышения эффективности функционирования объектов исследования [6]. Ее основным содержанием являются теоретические и прикладные исследования системных связей и закономерностей функционирования и развития объектов и процессов с учетом отраслевых особенностей, ориентированные на

повышение эффективности управления ими с использованием современных методов обработки информации. Значение решения научных и технических проблем данной специальности для народного хозяйства состоит в разработке новых и совершенствовании существующих методов и средств анализа, обработки информации и управления сложными системами, повышения эффективности, надежности и качества технических систем.

В частности, данная работа посвящена программе прогнозирования и оценки надежности сложных технических систем управления предприятиями. Так как в экономике под эффективностью понимаются различные соотношения между доходами и расходами, то максимальное повышение эффективности в нашем случае достигается вследствие предотвращения или уменьшения потери доходов за счет уменьшения или исключения простоев организации в целом из-за технического сбоя оборудования систем управления.

Обычно для них в качестве показателя эффективности берется коэффициент технического использования η, характеризующий долю времени нахождения систем управления в работоспособном состоянии относительно рассматриваемой продолжительности эксплуатации [7] (1):

$$\eta = \frac{1}{1+\sum_{i=1}^{n}\lambda_i \cdot t_{cpi}} \tag{1}$$

где n – число независимых элементов системы (например, компьютеров), подверженных отказам; λ_i – интенсивность отказов i-го элемента; t_{cpi} – среднее время на устранение отказа.

Однако ввиду того, что наиболее популярной структурой современных компьютерных систем управления предприятиями является структура типа «звезда» с центральным сервером, то отсюда следует, что с экономической точки зрения максимальные потери дохода будут иметь место в случае сбоя этого центрального сервера.

Время на устранение отказа сервера t_i складывается из времени на ремонт и замену компонент t_{ij}, его составляющих (2):

$$t_i = \sum_{j=1}^{m} t_{ij} \tag{2}$$

где m – число компонент сервера.

Самыми критичными элементами в серверных компьютерах систем управления предприятиями являются накопители информации. Время, необходимое на восстановление данных с отказавшего накопителя информации, рассчитывается следующим образом (3):

$$t_{ij} = t_{ij1} + t_{ij2} + t_{ij3} + t_{ij4} + t_{ijl} \tag{3}$$

где t_{ij1} – время создания архива, t_{ij2} – время поиска необходимого архива, t_{ij3} – время разархивации найденного архива, t_{ij4} – время восстановления операционной системы, t_{ijl} – время, затраченное на другие необходимые в конкретном случае операции.

Поэтому в качестве целевой функции с точки зрения экономической эффективности предлагается минимизировать время простоя сервера, а, следовательно, и всего предприятия в целом, в период t_{ij} восстановления информации из резервного архива (4):

$$t_{ij} = \sum_{k=1}^{l} t_{ijk} \to \min \tag{4}$$

где t_{ijk} – время простоя серверного компьютера из-за замены вышедшего из строя накопителя на период выполнения k-ой операции восстановления информации; l – число операций по восстановлению информации.

Автору пришлось лично столкнуться со случаем выхода из строя серверного накопителя информации, приведшего к простою системы управления городского масштаба. Предварительная оценка ущерба составила 300000 рублей.

Разрабатываемая программа диагностики и прогнозирования надежности накопителей информации в системах управления дает возможность заранее выявлять сбойные накопители и в «горячем» режиме создавать необходимые копии их архивов. Функционирование демонстрационной версии программы с удобным графическим отображением информации

на дисплее приведено в [8].

Таким образом, именно правильно указанная точка зрения позволяет верно сформулировать целевую функцию и с ее помощью обосновать необходимость и эффективность инвестирования в разработку программы оценки и прогнозирования надежности накопителей информации в зависимости от их степени важности в компьютерных системах управления предприятиями.

Список литературы

1. *Лопатников Л.И.* Экономико-математический словарь: словарь современной экономической науки. 5-е изд., перераб. и доп. М.: Дело, 2003. 520 с.
2. Системный решатель проблем РВШ : краткое методическое пособие для прошедших обучение / В.Ш. Рапопорт [и др.]. Новая Каховка, УССР : Научно-внедренческий и консультативный центр "Экоу-консульт", 1990. 92 с.
3. Об утверждении Стратегии развития электронной промышленности России на период до 2025 года : приказ Минпромэнерго РФ от 07.08.2007 № 311.
4. Об утверждении Требований по обеспечению целостности, устойчивости функционирования и безопасности информационных систем общего пользования: приказ Минкомсвязи РФ от 25.08.2009 № 104 (зарегистрировано в Минюсте РФ 25.09.2009 № 14874).
5. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов и их отбору для финансирования : утв. Госстроем РФ, Минэкономики РФ, Минфином РФ, Госкомпромом России 31.03.1994 № 7-12/47.
6. Паспорта специальностей научных работников (по номенклатуре специальностей 2009 года). URL : http://www.aspirantura.spb.ru/pasport/05_13_01.html.
7. *Насыров И.И., Насыров Р.И., Ломаев Г.В.* Гибридный метод прогнозирования надежности накопителей информации. Saarbrücken, Deutschland: Palmarium academic publishing, 2012. 143 p.
8. *Насыров Р.И., Насыров И.И., Тимергалиев С.Н., Ломаев Г.В.* Программа ранжирования накопителей информации по степени надежности в компьютерных системах управления предприятиями // Образование и наука закамья Татарстана. 2012. № 25. URL: http://www.nauctat.ru.

05.22.10

О.А. Новоселов к.т.н.

Тюменский государственный нефтегазовый университет,
Институт транспорта, кафедра сервиса автомобилей и технологических машин,
Тюмень, eom@tsogu.ru

КЛАССИФИКАЦИЯ СТРУКТУР ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ В НЕФТЕГАЗОВОМ КОМПЛЕКСЕ

Рассмотрен вопрос формирования структур транспортно-технологических систем в нефтегазовом комплексе. Классифицированы структуры систем. Приведены факторы, влияющие на формирование структур.

Ключевые слова: *организационная структура, производственная структура, транспортно-технологические системы, нефтегазовый комплекс*.

Нефтегазодобывающая промышленность – ведущая отрасль экономики Российской Федерации, обеспечивающая большую долю валового внутреннего продукта. Соответственно от эффективности работы нефтегазодобывающих предприятий зависит решение приоритетных вопросов укрепления обороноспособности страны, перевода экономики на инновационный путь, развития социальной сферы.

Существенную роль в обеспечении работы таких предприятий играет транспортно-технологическая система (ТТС). От надежности и эффективности ее функционирования зависят своевременность доставки грузов и персонала, простои бригад ремонта скважин из-за отсутствия или отказа транспортно-технологических машин, а также себестоимость конечного продукта.

В то же время существует ряд проблем, решение которых позволит повысить надежность и эффективность функционирования ТТС.

В настоящее время транспортно-технологические системы разных нефтегазодобывающих предприятий построены по разным принципам, имеют различные структуры. Не ясно, какие структуры обеспечивают более эффективное функционирование ТТС. Не отработаны методики трансформации ТТС. Не выявлена степень влияния типа производственной и пространственной структур на эффективность. Не изучено влияние уровня концентрации, централизации и специализации производства. Нет рекомендаций по формированию количественного и квалификационного состава персонала.

При этом затраты на транспортно-технологическое обслуживание составляют существенную долю в себестоимости добычи нефти и газа, простои объектов нефтегазодобычи из-за отказа ТТС значительны.

Для решения указанных проблем необходимо знать закономерности влияния типов и параметров структур ТТС на эффективность, а также иметь модели их функционирования. Учитывая, что проведенные ранее исследования не позволяют прогнозировать поведение ТТС при изменении ее структуры, необходимо отметить актуальность исследований, направленных на установление указанных закономерностей и разработку практических методов совершенствования структур ТТС.

Применительно к автотранспортным системам выполнен ряд исследований, позволяющих прогнозировать их поведение. Исследования транспортно-технологических систем нефтегазодобывающих комплексов немногочисленны [1 … 7]. Структуры ТТС наиболее полно исследованы в работах [1, 2]. В то же время классификации этих структур недостаточно проработаны.

При формировании структуры ТТС необходимо учитывать в ней следующие компоненты:

нефтегазовые компании;
транспортно-технологическую систему региона;
нефтегазодобывающие предприятия;
предприятия технологического транспорта;
предприятия технического сервиса машин.

Выделение этих элементов позволило построить обобщенную структуру ТТС (рис. 1).

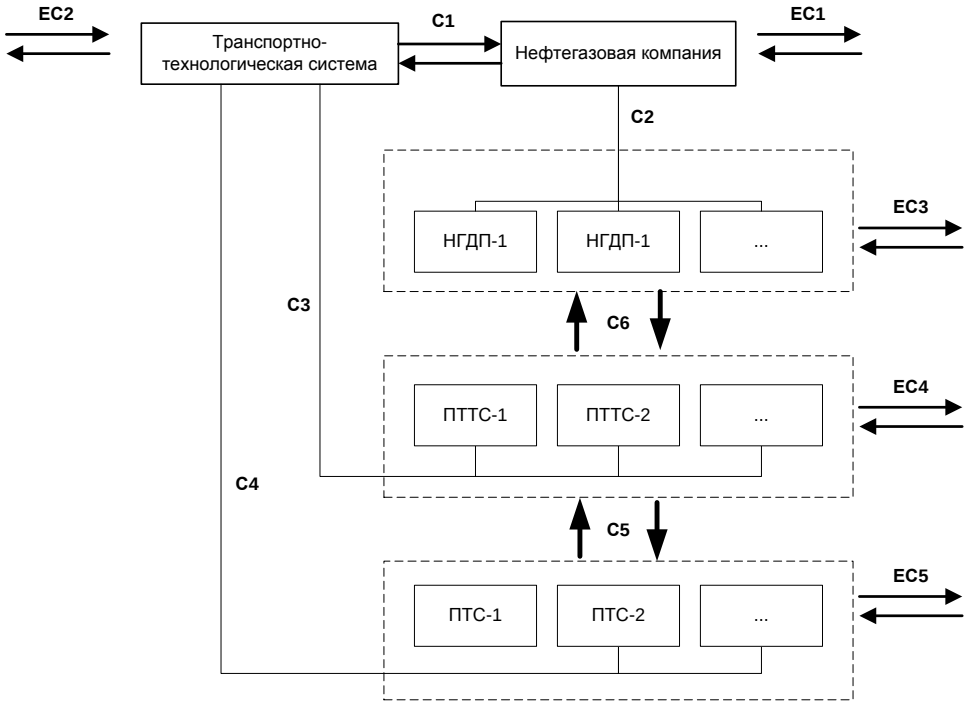


Рис. 1- Обобщенная структура транспортно-технологических систем в нефтегазовом комплексе

При этом необходимо рассмотрение следующих связей Ci («C» от англ. «communication» – связь):

C1 – «Нефтегазовая компания – транспортно-технологическая система региона»;

C2 – «Нефтегазовая компания – нефтегазодобывающие предприятия»;

C3 – «Транспортно-технологическая система региона – предприятия транспортно-технологического сервиса»;

C4 – «Транспортно-технологическая система региона – предприятия технического сервиса машин»;

C5 – «Предприятия транспортно-технологического сервиса – предприятия технического сервиса машин»;

C6 – «Предприятия транспортно-технологического сервиса – нефтегазодобывающие предприятия».

Кроме того, необходимо рассмотреть внешние связи ECi («EC» – от англ. «external communications» – внешние связи), то есть связи с окружением:

EC1 – «Нефтегазовая компания – окружение»;

EC2 – «Транспортно-технологическая система – окружение»;

EC3 – «Нефтегазодобывающие предприятия – окружение»;

EC4 – «Предприятия транспортно-технологического сервиса – окружение»;

EC5 – «Предприятия технического сервиса машин – окружение».

Структуры подсистемы «НГК – ТТС» (C1) разделяются на два типа (рис. 2): а – ТТС в структуре НГК (УТТ – управление технологического транспорта; ПТТ – предприятие технологического транспорта); б – ТТС вне структуры НГК.

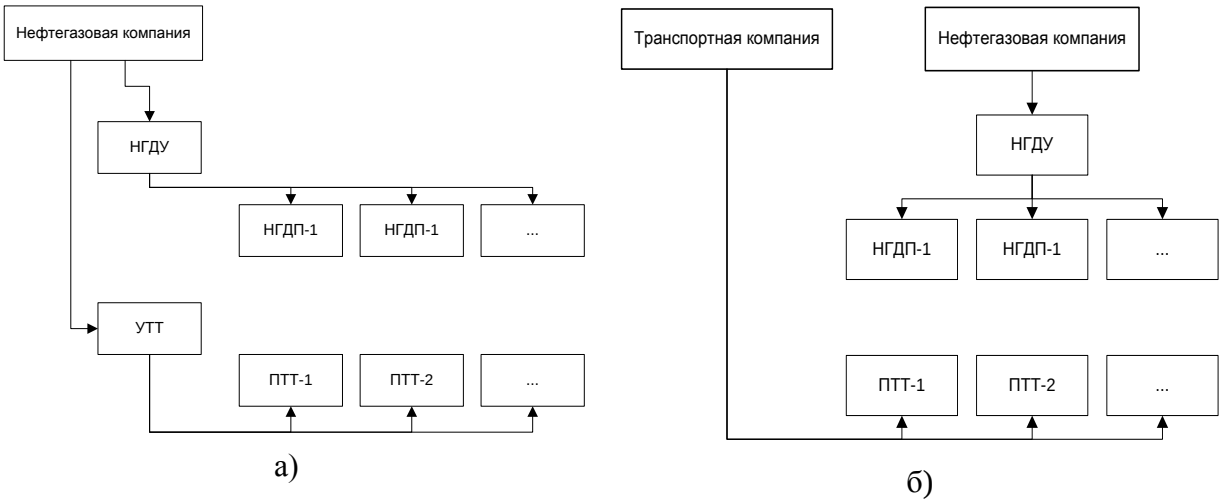


Рис. 2- Типы структур подсистемы «НГК – ТТС» (С1):
а – ТТС в структуре НГК; б – ТТС вне структуры НГК

Структуры подсистем «НГДП – ПТТС» (С6) разделяются на простые и смешанные. Простые разделяются на линейные, параллельные, сходящиеся и расходящиеся (рис. 3). Смешанные разделяются на частично смешанные и полностью смешанные.

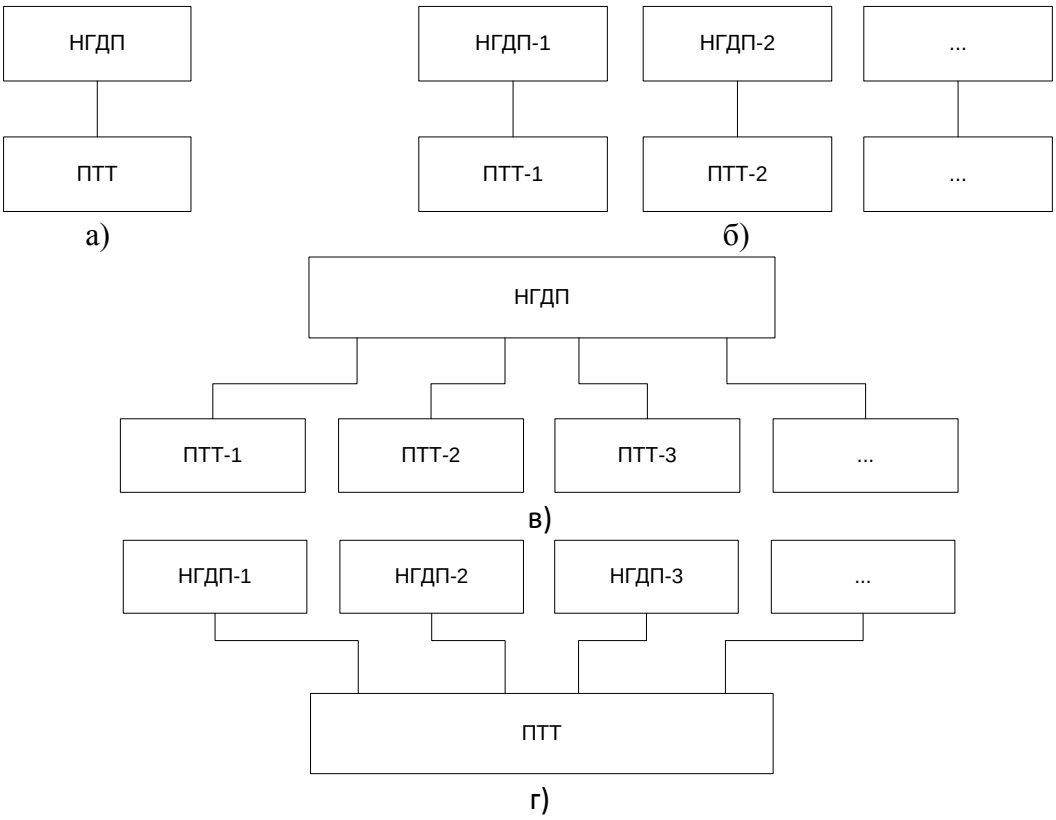
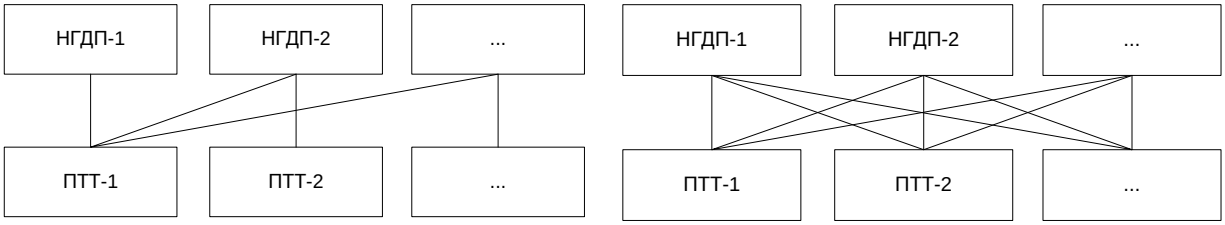


Рис. 3- Типы простых структур подсистемы «НГДП – ПТТ» (С6):
а – простая линейная; б – простая параллельная; в – простая сходящаяся;
г – простая расходящаяся



а) б)

Рис. 4- Типы смешанных структур подсистемы «НГДП – ПТТ» (С6):
а – частично смешанная; б – полностью смешанная

На практике тип структуры определяется рядом факторов:

организационно-правовыми формами предприятий, входящих в структуру;

уровнем специализации предприятий;

уровнем концентрации транспортно-технологических машин в регионе и локализации их на территории;

уровнем развития рынка транспортно-технологического и технического сервиса в регионе и другими.

Далее для решения указанных выше проблем необходимо:

выявить факторы, формирующие структуру ТТС;

классифицировать организационные и производственные структуры ТТС;

разработать методику оценки степени влияния типов структур на эффективность функционирования ТТС;

выявить влияние типа производственной и пространственной структур на эффективность;

определить траектории и разработать методики трансформации ТТС.

Использование полученных результатов позволит повысить надежность и эффективность функционирования ТТС и, соответственно, нефтегазового комплекса в целом.

Список литературы

1. *Захаров Н.С.* Оценка стратегий развития транспортно-технологических систем [Текст] / Н.С. Захаров // Проблемы эксплуатации и обслуживания транспортно-технологических машин: Доклады международ. науч.-техн. конф. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2006. – С. 73-84.

2. *Козорезов А.А.* Организация транспортного обслуживания строительства нефтяных и газовых скважин [Текст] / А.А. Козорезов, С.П. Воляр. – М.: Недра, 1990. – 250 с.

3. *Захаров Н.С* Интенсивность расходования ресурсов при эксплуатации транспортно-технологических машин с учетом сезонности [Текст] / Н.С. Захаров Г.В., Абакумов, А.В. Вознесенский и др. // Вестник Оренбургского государственного университета. Прогрессивные технологии в транспортных системах. – 2005. – №12. – С. 42-45.

4. *Захаров Н.С.* Проблема обеспечения надежности шин автомобилей, обслуживающих объекты нефтегазового комплекса [Текст] / Н.С. Захаров, Г.В. Абакумов, А.И. Петров // Известия вузов. Нефть и газ. – 1998. – №6. – С. 107-113.

5. *Захаров Н.С.* Модель восстановления транспортной подсистемы производственных систем нефтегазового комплекса [Текст] / Н.С. Захаров // Известия вузов. Нефть и газ. – 1997. – №6. – С. 157.

6. *Захаров Н.С.* Актуальные проблемы эксплуатации автомобилей и транспортно-технологических машин в нефтегазодобывающем регионе [Текст] / Н.С. Захаров, Г.В. Абакумов, К.В Бугаев и др. // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2006. – № 6. – С. 77-79.

7. *Захаров Н.С.* Влияние сезонной вариации факторов на интенсивность расходования ресурсов при эксплуатации транспортно-технологических машин [Текст] / Н.С. Захаров, Г.В. Абакумов, А.В. Вознесенский и др. // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2006. – № 1. – С. 75-79.

05.02.08

А.А. Орлов к.т.н.

Снежинский физико-технический институт
филиал Национального Исследовательского Ядерного Университета
Московский Инженерно-физический институт (МИФИ),
кафедра «Технология машиностроения», г. Снежинск, orlov74@yandex.ru

МЕТОДИКА ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И ТОЧНОСТИ ТОКАРНО-АВТОМАТНЫХ ОПЕРАЦИЙ НА ОСНОВЕ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ

В работе представлена методика управления режимами резания при двухсуппортной многоинструментной обработке на токарных автоматах. В частности, описывается методика определения подачи, обеспечивающая заданную точность.

Ключевые слова: *токарные автоматы, многоинструментная наладка, угол разворота суппортов, режимы резания.*

Развитие и совершенствование прогрессивных приемов металлообработки в современном машиностроении связано с применением автоматизированного станочного оборудования, одним из элементов которого являются токарные автоматы и полуавтоматы, обладающие возможностью многосуппортной и многоинструментной обработки.

Они имеют широкое применение для изготовления большой и разнообразной номенклатуры деталей в массовом, крупносерийном, а часто и среднесерийном производствах всех отраслей машиностроения.

Высокая эффективность применения данного оборудования достигается при максимальном использовании их технологических возможностей - применении параллельной и параллельно-последовательной обработки, концентрации операций и переходов.

Однако обследование предприятий ряда отраслей показало, что имеются серьезные недостатки в их эксплуатации:

- Мал уровень концентрации переходов: как правило, количество инструментов на позиции равно одному, в то время как здесь возможна двухсуппортная многоинструментная обработка.
- Недоиспользуются точностные возможности станков: их применение ограничивается выполнением размеров по 12, редко 11 квалитету, при гарантированных паспортом 9 и даже 8 квалитете.
- Уровень режимов резания значительно ниже, чем допускается требованиями по стойкости режущего инструмента, причем при обработке однотипных деталей на различных заводах он колеблется в 1,5 - 2 раза.

Такое положение связано с отсутствием четких численных рекомендаций по назначению режимов резания, в частности подачи и глубины во взаимосвязи с точностью и производительностью обработки.

Как показывают исследования, значительный вклад в суммарную погрешность вносит погрешность, возникающая вследствие упругих деформаций звеньев технологической системы. По данным ряда авторов, на нее приходится: на чистовых операциях до 25%, на черновых - 90% от суммарной погрешности. Величина упругих деформаций целиком предопределяется силой резания и жесткостью звеньев технологической системы.

Для повышения точности и производительности обработки необходимо использовать широкодиапазонные математические модели формирования погрешностей, которые могут быть использованы как в условиях черновой, так и чистовой обработки.

Для этой цели, исходя из законов о равенстве работ активных и реактивных сил, а также законов теории пластичности, используя методики, изложенные в работе [1], были разработаны зависимости по расчету составляющих силы резания, например, для составляющей P_y:

$$P_Y = \frac{S \cdot \tau_P \cdot \sin\beta}{\sin\beta_1}\left[t \cdot \cos\varphi + \frac{r}{2}((1-\cos\varphi)^2 - \sin^2\varphi_1)\right] +$$
$$+ \frac{\tau_P \cdot \sin\beta}{\sin(\beta+\beta_1)} l_3 \left[t \cdot \frac{1}{tg\varphi} + r(\sin(\varphi+\varphi_1) - \frac{1-\cos\varphi}{tg\varphi})\right], \quad (1)$$

где: τ_P - величина касательного напряжения в условной плоскости сдвига; t - глубина резания; S - подача на оборот; β_I - угол сдвига; β - угол действия; r - радиус при вершине инструмента; φ и φ_1 - главный и вспомогательный углы в плане у резца; l_3 - длина фаски износа резца по задней поверхности.

Для проверки адекватности полученных зависимостей было проведено сопоставление расчетных и экспериментальных значений сил резания (в том числе с данными других авторов). Анализ показал достаточную их сходимость (в большинстве случаев расхождения не превышают 10%).

Для вывода зависимостей по расчету упругих деформаций, в качестве расчетной, использована схема двухсуппортной многоинструментной наладки. При этом угол взаимного расположения суппортов Θ не равен 180 градусам (неразвернутая наладка). В этом случае обработка ведется несколькими инструментами в продольного и поперечного суппортов, причем каждый инструмент формирует два размера – линейный и диаметральный. Такая схема является обобщением различных наладок реализуемых на токарных автоматах.

Будем считать, что технологическая система представляет собой линейную упруго-деформируемую систему, элементы которой имеют две степени свободы (перемещения в направлении линейных и диаметральных размеров, формируемых в наладке) [2], . При этом звенья технологической системы испытывают воздействие силовых факторов от всех инструментов наладки. Поэтому, упругие деформации для каждого формируемого в наладке размера определяются отношением соответствующей силы к характеристикам жесткости в данном направлении. Например, для диаметральных размеров, формируемых с продольного суппорта Y_1:

$$Y_1 = \frac{1}{J_{01Y}} \sum_{i=1}^{L_1} \left[A_{Yi1} S_1 (t_{i1} \cos\varphi_{i1} + B_{Yi1}) + C_{i1}\left(\frac{t_{i1}}{tg\varphi_{i1}} + D_{Yi1}\right)\right] +$$
$$+ \frac{1}{J_{0Y}} \sum_{i=1}^{L_2} \left[A_{Yi2} S_2 (t_{i2} \cos\varphi_{i2} + B_{Yi2}) + C_{i2}\left(\frac{t_{i2}}{tg\varphi_{i2}} + D_{Yi2}\right)\right] \cos\Theta -$$
$$- \frac{1}{J_{0Y}} \sum_{i=1}^{L_2} \left[A_{Zi2} S_2 (t_{i2} \cos\varphi_{i2} + B_{Zi2}) + \mu_{i2} C_{i2}\left(\frac{t_{i2}}{tg\varphi_{i2}} + D_{Zi2}\right)\right] \sin\Theta, \quad (2)$$

где: t_{ij} глубина резания для ij – го инструмента (j - номер суппорта: j=1 – продольный, j=2 – поперечный; i – номер инструмента на j – ом суппорте); S_1 и S_2 - подачи продольного и поперечного суппортов; J_{01Y}, J_{0Y} - характеристики жесткости; Θ - угол разворота инструментов продольного и поперечного суппортов.

На основе зависимости (2) может быть разработана модель управления точностью

обработки (подачей) в условиях двухсуппортных многоинструментных наладок. Это позволяет на стадии проектирования расчетным путем определить величину коррекции настроечных размеров.

Для решения задачи проектирования двухсуппортной многоинструментной операции обработки модель формирования погрешности (2) может быть трансформирована в модель управления.

В условиях обработки на токарных автоматах, такими параметрами могут быть подачи суппортов (S_1, S_2) и угол разворота инструментов Θ . Последний предопределен широким использованием державок, обеспечивающих различные углы разворота инструментов относительно суппорта.

Для принятого набора параметров управления область их применения является трехмерной. Однако, учитывая разную природу параметров управления, графически область их значений может быть представлена в виде областей допустимых подач (вид многоугольника) при различных фиксированных углах разворота.

Анализ подобных графиков показывает, что в условиях двухсуппортных наладок возможно увеличение подач суппортов по сравнению с односуппортными, за счет частичной взаимной компенсации усилий резания с разных суппортов.

Сама форма и размеры области допустимых подач определяются не только параметрами детали и заготовки, но и углом разворота инструментов Θ . Для определения углов разворота суппортов, допускающих увеличение подач, при прочих равных условиях, получены соответствующие зависимости. Например, для случая, когда лимитирующей является точность диаметральных размеров, формируемых с продольного суппорта Θ_M^{Y1} :

$$\Theta_M^{Y1} = \arcsin \frac{L_{PX1}}{L_{PX2}} \cdot \frac{\frac{1}{J_{01Y}} \sum_{i=1}^{L1} A_{Yi1}\left(t_{i1} \cos\varphi_{i1} + B_{Yi1}\right)}{\frac{1}{J_{0Y}} \sqrt{\left(\sum_{i=1}^{L2} A_{Yi2}\left(t_{i2} \cos\varphi_{i2} + B_{Yi2}\right)\right)^2 + \left(\sum_{i=1}^{L2} A_{Zi2}\left(t_{i2} + B_{Zi2}\right)\right)^2}} + \\ + arctg \frac{\sum_{i=1}^{L1} A_{Yi2}\left(t_{ii2} \cos\varphi_{i2} + B_{Yi2}\right)}{\sum_{i=1}^{L2} A_{Zi2}\left(t_{i2} + B_{Zi2}\right)}, \qquad (3)$$

где: L_{PX1}, L_{PX2} - длины рабочих ходов инструментов продольного и поперечного суппортов.

Лабораторные исследования и производственные испытания показали справедливость разработанных математических моделей. Это делает возможным определение расчетным путем подач, допустимых по точности обработки, для заданной структуры наладки.

Таким образом, проведенные теоретические и экспериментальные исследования позволили разработать расчетную методику определения подач и угла разворота инструментов в условиях двухсуппортных многоинструментных наладок, с целью обеспечения требований по точности при наибольшей производительности.

Список литературы

1. *Внуков Ю.Н., Саржинская А.Г.* Анализ особенностей различных подходов при аналитическом расчете сил резания // Резание и инструмент в технологических системах: Междунар.науч.-техн.сб. –Харьков: НТУ «ХПИ», 2010.-Вып.74. - С.31-56.

2. *Кошин А.А., Шаламова И.А.* К вопросу автоматизации проектирования многоинструментных токарных операций.// Прогрессивные технологии чистовой и отделочной обработки: Сб. науч. тр. – Челябинск: ЧПИ, 1984. – С. 89-98.

05.23.05

С.А. Пашкевич, А.П. Пустовгар, А.Д. Веденин, Ф.А. Гребенщиков

Московский государственный строительный университет,
НИИ строительных материалов и технологий,
Москва, advedenin@yandex.ru

ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ФАСАДНЫХ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ ФИБРОКОМПОЗИТОВ

Проанализировано влияние окружающей среды на незащищенные фасадные теплоизоляционные фиброкомпозиты. Проведены натурные испытание промышленных фиброкомпозитов - минераловатных плит. Измерены теплопроводность, влажность и плотность фиброкомпозитов и установлено соответствие их требованиям технических условий. Даны рекомендации по повышению влагостойкости и прочности фасадных теплоизоляционных фиброкомпозитов.

Ключевые слова: *фиброкомпозит, теплоизоляция, долговечность.*

Теплоизоляционные фиброкомпозиты (ТФК) - минераловатные плиты или маты, состоящие из стекловидных волокон, полученных из шихты шлаков и горных пород (доломита, мергелей, базальта), органического или неорганического связующего и различных функциональных добавок: гидрофобизаторов, обеспыливателей, фунгицидов и др. Длина волокон составляет 2-30 мм, толщина волокон от 2 до 12 мкм. Теплозащитные свойства ТФК обусловлены порами, заполненными воздухом, которые занимают до 96% общего объема фиброкомпозита, и зависят от плотности, толщины волокон, пористости, содержания корольков, т.е. шаровидных стекловидных включений. Коэффициент теплопроводности λ ТФК равен 0,035-0,048 Вт/(м•К). Высокая паропроницаемость ТФК в сравнении с другими теплоизоляторами, которая составляет 0,25-0,35 мг/м•ч•Па, является как преимуществом, так и недостатком и должна учитываться в конкретных строительных конструкциях индивидуально. При использовании ТФК внутри зданий барьерные свойства ограждений снижаются. В фасадных системах ТФК способствуют удалению влаги с внешней поверхности ограждений, что способствует их теплоизоляции.

Проблема долговечности ТФК, т.е. их способность сохранять заданное время главные эксплуатационные показатели в конкретных условиях, в последнее время приобретает все большую актуальность [1]. При этом основные эксплуатационные свойства ТФК, применяемых в ограждающих конструкциях, связаны с воздействиями температуры и влаги окружающей среды. Поэтому способность ТФК противостоять температурно-влажностным факторам окружающей среды имеет первостепенное значение.

Минераловатные плиты не являются капиллярными абсорбентами, т.е. они не могут абсорбировать воду, если вступают с ней в контакт с одной стороны. Это свойство минераловатных плит практически не зависят от степени их гидрофобности. Если гидрофобизированные минераловатные плиты смочены с одной стороны, что, например, происходит во время дождя, тогда вода может проникнуть внутрь волоконной структуры в зависимости от ее плотности и гидрофобности. То же самое происходит, когда минераловатные плиты полностью погружены в воду. Практически нет различий в состоянии гидрофобизированных и негидрофобизированных минераловатных плит [2]. Увлажняя незащищенные минераловатные плиты, волокна, подвергнутые воздействию воды в направлении ее потока, выпрямляются подобно соломе на покрытых ею крышах. В работе [2] показан "эффект соломенных крыш": при толщине соломенной крыши, равной 37,5 см, максимальное проникновение влаги под воздействием дождя составило 50 мм, а проникновение влаги внутрь минераловатных плит толщиной 10 см было равно 10 мм. Вид фасадных минераловатных плит с плотностью 65 кг/м^3 после 4 лет эксплуатации

представлен на рис. 1. Гидрофобный эффект характеризовался уменьшением глубины проникновения максимально на 5-10 мм.

Исследования показали [3], что термические напряжения в поверхностных слоях светло окрашенных фасадов увеличиваются лишь на 10-30% против 300% в случае применения синтетических пеноматериалов. Также показано, что ТФК с мелкими трещинами до 0,2 мм не увеличивают влажность конструкции в целом. Минимальная капиллярность ТФК как с гидрофобизированными, так и с негидрофобизированными волокнами обеспечивает защиту основной конструкции от проливного дождя даже в случае разрушения штукатурки в течение длительного времени. В работах [1,2] дана оценка длительности эксплуатации ТФК до 60 лет.

Рис. 1 - Поверхности минераловатных плит на западном (вверху) и западном (внизу) фасадах здания

Для определения атмосферного воздействия на ТФК были проведены натурные испытания в течение июня-августа 2012 года. Минераловатные гидрофобизированные плиты, изготовленные в соответствии с ТУ 5762-001-80015406-2010, были смонтированы на фасаде без наружного покрытия. По истечении трех месяцев отобраны 2 образцов ТФК и проведены их испытания по ГОСТ 30256-94 «Материалы и изделия строительные. Метод определения теплопроводности цилиндрическим зондом» и ГОСТ 17177-94 «Материалы и изделия строительные теплоизоляционные. Методы испытаний».

Результаты испытаний представлены в таблицах 1, 2 и 3.

Таблица 1 - Результаты определения коэффициента теплопроводности (Вт/(м·К)) образцов по ГОСТ 30256-94.

№ п.п.	Маркировка образца	Значение
1	Д-Г, отм.15,0.	0,042
2	Г-В, отм.15,0.	0,046
3	Е-Д, отм.15,0.	0,056
4	В-Г, отм.15,0.	0,039
5	Г-Д, отм.15,0.	0,038
6	Д-Е, отм.15,0.	0,039
7	3-4, отм.15,0.	0,054
8	8-1, отм.15,0.	0,042

Таблица 3 - Результаты определения плотности образцов (кг/м³) по ГОСТ 17177-94.

№ п.п.	Маркировка образца	Значение
1	Д-Г, отм.15,0.	66
2	Г-В, отм.15,0.	68
3	Е-Д, отм.15,0.	92
4	В-Г, отм.15,0.	66
5	Г-Д, отм.15,0.	67
6	Д-Е, отм.15,0.	75
7	3-4, отм.15,0.	97
8	8-1, отм.15,0.	74

Таблица 2 - Результаты определения влажности образцов (%) по ГОСТ 17177-94.

№ п.п.	Маркировка образца	Значение
1	Д-Г, отм.15,0.	0,6/0,5/0,6/0,6/0,5 **Ср.знач. 0,6**
2	Г-В, отм.15,0.	0,6/0,6/0,5/0,6/0,5 **Ср.знач. 0,6**
3	Е-Д, отм.15,0.	0,9/0,7/0,9/0,9/0,7 **Ср.знач. 0,9**
4	В-Г, отм.15,0.	0,5/0,5/0,4/0,4/0,5 **Ср.знач. 0,5**
5	Г-Д, отм.15,0.	0,4/0,5/0,5/0,4/0,4 **Ср.знач. 0,4**
6	Д-Е, отм.15,0.	0,4/0,5/0,4/0,4/0,5 **Ср.знач. 0,4**
7	3-4, отм.15,0.	0,8/0,6/0,8/0,8/0,6 **Ср.знач. 0,8**
8	8-1, отм.15,0.	0,5/0,5/0,5/0,6/0,5 **Ср.знач. 0,5**

Анализ результатов испытаний и сравнение их с требованиями ТУ 5762-001-80015406-2010 (коэффициент теплопроводности 0,045 Вт/(м•К), влажность 0,50%, плотность 70-90 кг/м^3) показали, что незащищенные ТФК достаточно стойки к температурно-влажностным факторам окружающей среды, и по основному функциональному параметру - теплопроводности работоспособны. Однако для большей эксплуатационной надежности необходимо применять защитные фасадные покрытия (сайдинг, штукатурки, краски, синтетические пленки), которые уменьшат паропроницаемость ТФК и увеличат их эксплуатационный срок.

Статья подготовлена в рамках выполнения ГК № 16.552.11.7064 от 13.07.2012 г.

Список литературы

1. *Бобров Ю.Л., Овчаренко Е.Г., Шойхет Б.М., Петухова Е.Ю.* Теплоизоляционные материалы и конструкции. - М.:ИНФРА-М, 2003. - 268 с.
2. *Künzel, H.*: Das Feuchteverhalten von Mineralfaserplatten unter praktischen Bedingungen, Transportmechanismen und Prüfverfahren. Wksb 38 (1993), H. 32, S. 1-9.
3. *Künzel, H.*: Das Verhalten von Rockwool-Thermoblöcken als ußendämmung bei natürlicher Bewitterung. IBP-Bericht FB-29/1989.

05.02.08

В.Л. Попов, Б.Ю. Антонов, А.М. Игнатова

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
механико-технологический факультет,
кафедра сварочного производства и технологии конструкционных материалов,
ОАО «Первоуральский завод горного оборудования»,
Пермь, ignatovaanna2007@rambler.ru

ЭВОЛЮЦИОННОЕ РАЗВИТИЕ И КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СОВРЕМЕННОЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ ПЕЧИ ДЛЯ ПЛАВКИ ПЕТРУРГИЧЕСКОГО СЫРЬЯ

В статье рассматривается эволюционное развитие промышленных плавильных агрегатов для петрургического сырья, технологические особенности петрургических расплавов и конструкция наиболее современного плавильного агрегата для петрургического сырья.

Ключевые слова: *Петрургия, каменное литье, силикатный расплав, доменный шлак, минеральное сырье, дуговая печь, плавление.*

Развитие промышленной переработки минерального и техногенного безжелезистого и железистого оксидного сырья петрургическими методами [1] связано с необходимостью совершенствования материально-технической базы для ее реализации. Существуют различные плавильные печи и агрегаты для переплавки петрургического сырья, это и вагранки и топливные печи ванного типа, а так же вращающиеся и шахтно-ванные конструкции [2]. Однако, это оборудование, прообразом для которого служили классические металлургические агрегаты, мало подходит для плавки петрургического сырья. Выпускаемые промышленностью электродуговые плавильные печи не могут обеспечить должной производительности качественного петрургического расплава, поскольку они ориентированы на работы с металлическими материалами. Тем не менее опыт производства указывает на перспективность использования электродуговых плавильных печей [3].

Настоящая работа рассматривает эволюционное развитие конструкций плавильных печей для плавки петрургического сырья и конструктивно-технологическую характеристику современной промышленной электродуговой печи, а так же некоторые технологические особенности плавки петрургических шихт.

Первые электродуговые печи для плавки петрургического сырья [4] имели толстый слой динасовой футеровки, которая тем не менее быстро приходила в негодность из-за разъедания ее расплавом. В следствие изменялся рабочий объем печи, расплав насыщался диоксидом кремния, выделявшимся при растворение футеровки, что в свою очередь снижало технологические свойства расплава (кристаллизационную способность, вязкость и т.д.). Другой недостаток первых моделей электродуговых печей заключался в большой величине удельной площади контакта расплава с футеровкой, то есть отношение смоченной поверхности ванны к объему расплава.

При конструирование следующего поколения электродуговых печей [5] эти недостатки были учтены. Рабочий объем ванны был увеличен за счет утонения кладки, что снизило площадь контакта, так же стало применятся водяное охлаждение ванны, что дополнительно увеличило срок службы футеровки.

Первые модификации электродуговых печей [4] имели рабочее напряжение 220 В, из-за чего их производительность оставляла желать лучшего, ведь одна из особенностей петрургической шихты – высокая тугоплавкость. Поэтому следующим шагом совершенствования плавильных агрегатом [6] для петрургического сырья стало увеличение

их рабочего напряжения до 380 В, это позволило увеличить производительность в 2,5 раза, снизить расход электроэнергии и повысить качество получаемого расплава

Наиболее современными электродуговыми печами для плавки петрургического сырья являются двухэлектродные наклонные плавильные печи [7] (рис. 1). Печь обладает следующими характеристиками: режим работы – периодический с кратковременным отключением, номинальное напряжение 0,4 кВ, частота тока 50 Гц, максимальный ток нагрузки – 1500 А, потребляемая мощность ($I_н$ = 1000А) – 400 кВт, расход электроэнергии на одну тонну расплава – 1400 кВт/час. Объем плавильного пространства – 1,2 $м^3$, производительность печи – 140-200 кг/час, диаметр электрода – 100-150 мм, тип электрода – ЭГ-0, число электродов – 2 шт, футеровка - кирпич динасовый Д-5 (3600 шт), габаритные размеры печи 2,5х3,6х1,3 м, количество расплава получаемое за одну плавку 550-600 кг. Печь оснащена водяным охлаждением.

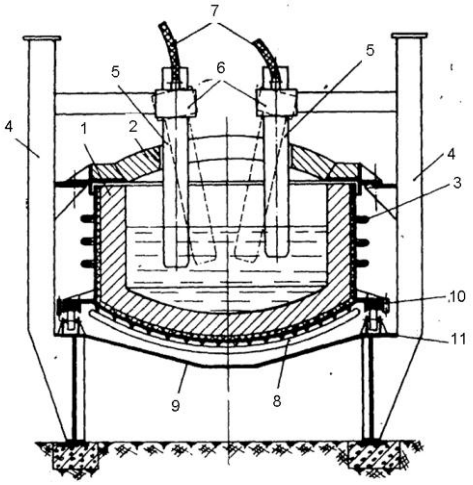


Рис. 1. Промышленная электродуговая печь для плавки петрургического сырья:
1 — корпус, футерованный динасом; 2 — свод; 3 — трубы струйного охлаждения стенок корпуса; 4 — колонки электрододержателей; 5 — электроды; 6 — электрододержатели; 7 — токоподводящее устройство; 8 — трубы струйного охлаждения подины; 9 — водослив; 10 — опорный венец; 11 — роликоопора

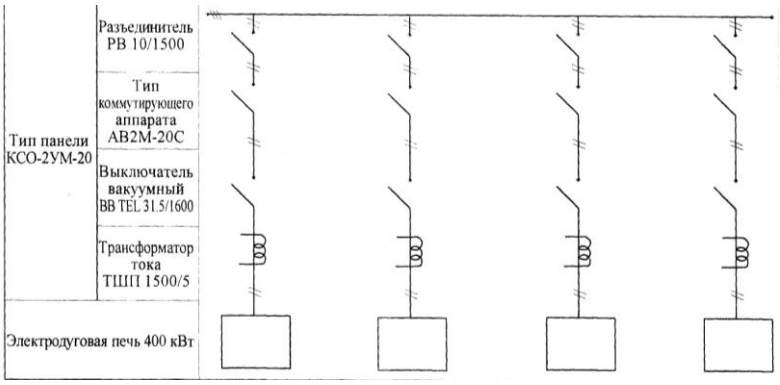


Рис. 2. Схема электрообслуживания печи [8]

Электропечь представляет собой сварную конструкцию с футерованной ванной, закрытым сварным или открытым сводом, и двумя подвижными электродами с электроприводом. Электроды установлены на двух противоположных сторонах ванны и могут перемещаться вверх/вниз, а так же менять угол наклона и таким образом приближаться друг к другу, управление ими осуществляется дистанционно. Дно печи оборудовано роликовым механизмом для наклона печи, так же управляемым с помощью электропривода. Работа печи осуществляется на максимальных токах 1250 А промышленной частоты, с трансформатором ТШП 1500/5. Трансформатор устанавливается в специальном помещении, управление подачей тока и величиной напряжения осуществляется с отдельной подстанции, работа

которой подразумевает обслуживание нескольких плавильных агрегатов (рис. 2) [8]. Уровень погружения электродов регулируется с помощью механизма перемещения электродов, который включает в себя два электродвигателя, два редуктора, два стояка, расположенных на боковых стенках каркаса, штангу и два электрододержателя. Соединение электродвигателя с редуктором осуществляется через клиноремённую передачу, редуктора и стояка - через втулочно-пальцевую муфту. Электродвигатели через редуктор и коническую передачу вращают винты стояков, которые сообщают поступательное движение гайкам, на которые подвешена штанга с электрододержателями. Управление предусмотрено как двумя, так и одним двигателем.

Наклон печи для отбора расплава осуществляется с помощью механизма наклона, который включает в себя электродвигатель, редуктор, вал, два кронштейна на валу, две тяги и два кронштейна на корпусе печи. Соединение электродвигателя с редуктором осуществляется через клиноремённую передачу, редуктора и вала - через втулочно-пальцевую муфту. Электродвигатель через редуктор вращает вал, передающий через кронштейны и тяги вращательное движение плавильной печи, каркас, которой смонтирован на основании, состоящем из двух опор, имеющих форму сегмента, установленных на катках. Для удобства в эксплуатации и безопасности в работе наклон и подъём ограничиваются конечными выключателями, включёнными в схему управления электродвигателем.

Вытяжная вентиляция предназначена для отвода газов и пыли, образуемых в процессе плавления и подшихтовки. Она включает в себя центробежный вентилятор, воздуховод, вытяжной зонт, смонтированный над электрододержателями и вибропитателем. Приточная вентиляция предназначена для охлаждения пода печи, как наиболее ответственной части. Включает в себя вентилятор высокого давления, воздуховод и обдувочный раструб.

Для обеспечения безопасности обслуживающего персонала на плавильной печи выполнены следующие конструктивные элементы: боковые и задняя части печи обнесены сетчатым ограждением, перед печью смонтирована смотровая площадка; на своде печи смонтирована площадка для обслуживания; привод механизма перемещения электродов закрыт кожухами; на калитке входа на плавильную печь установлен выключатель, включённый в схему отключения нагрузки и блокирующий включение при открытой калитке [9].

Процесс плавки и его параметры зависят от типа петрургического сырья, которое может быть железистое (минеральное технологическое сырье) и безжелезистое (техногенное сырье), в представленной печи успешно плавятся обе разновидности. Однако, использование железистого сырья приводит к более интенсивному износу футеровки, тем не менее в практике железистое сырье применяется активнее. Оксидный состав некоторых разновидностей различных типов сырья представлен в табл.1.

Таблица 1

Оксидный состав петрургических шихт

Вид шихты	Оксидный состав, %										
	SiO_2	Al_2O_3	CaO	FeO	Fe_2O_3	MgO	MnO	K_2O+Na_2O	TiO_2	V_2O_5	П.п.п.
Железистая (на основе горнблендита)	37,0	14,0	11,3	5,8	9,9	10,8	0,3	1,5	0,1	-	9,3
Безжелезистая (доменный шлак, г. Чусовой)	25,0	15,5	31,0	2,0	-	12,5	0,5	-	9,0	0,2	4,3

Загрузка печи начинается с того, что на дно плавильного пространства вновь футерованной печи выкладывается мелкий стальной лом. Высота слоя металла 150-200 мм. Металл засыпается петрургической шихтой. Электроды погружаются на глубину 50 мм.

Между ними прокладывается канавка глубиной 50 мм и шириной 50-100 мм, которая засыпается графитом и увлажняется водой. Включаются вытяжная и приточная вентиляция. После полной подготовки печи на электроды подаётся напряжение. В начальный период графитовая дорожка накаляется до красна. Ток нагрузки незначительный, до 50А. При резком повышении тока, свыше 1500 А, печь немедленно отключают, незначительно разгребают графитовую подсыпку и производят повторную засыпку. В дальнейшем на месте дорожки и под электродами шихта проплавляется. Нагрузка постепенно растёт и выводится на рабочий режим. По мере необходимости производится подсыпка шихты из бункера через вибропитатель.

При первичном запуске, печь проплавляется 24 часа, после чего останавливается, и в течение 16 часов остывает для того, чтобы расплав, проникнувший в щели кладки застыл. За счёт этого срок службы футеровки увеличивается.

Рабочее напряжение при штатном режиме работы 380 В. Ванна печи вмещает до 5 т расплава. После того, как произошло первичное оплавление шихты в околоэлектродной зоне, в плавильное пространство погружаются электроды, на которые подаётся напряжение от силового трансформатора. Между электродами возникает электрический ток (дуга). В силу малого сопротивления расплава между электродами ток достигает больших величин и, за счёт выделения большого количества тепла микродуг, происходит плавление. Величина рабочего тока зависит от степени погружения электродов в расплав и регулируется путём загрузки шихты в печь. При опускание электродов величина рабочего тока увеличивается, а при поднятие наоборот уменьшается, диапазон величины рабочего тока составляет 650-850 А. В непосредственной близости от электрода температура расплава составляет 1650-1700°С, к периферии температура снижается до 1480-1520°С.

Ввиду низкой температуропроводности расплава на большой части поверхности формируется застывшая корка, проплавляемая по мере загрузки шихты. Зеркало ванны свободно от корки только в горячей приэлектродной зоне. При использование предшествующих модификаций печей с это проблемой боролись путем перемешивания расплава, использовались миксерные механизмы и вращающееся печи. В электродуговых печах, улучшенной конструкции, в расплаве происходит интенсивная конвенция не за счет механического перемешивания, а вследствие интенсивных восстановительных процессов на электроде. Возникающая разница температур разных слоев расплава приводит к естественному перемешиванию за счет конвективных потоков, а интенсивное выделения газов в результате восстановительных процессов [10] на электроде приводит к барботированию расплава, что так же способствует его перемешиванию.

Отличие в процессе плавки безжелезистой и железистой шихты заключается в том, что при плавке железосодержащих шихт наблюдается частичное химическое и электрохимическое восстановление оксидов железа, что приводит к обеднению расплава по железу и скоплению восстановленного углеродистого железа на подине [10]. При разливке расплава при наклоне печи два разделившихся расплава могут быть разлиты отдельно друг от друга.

Таким образом, настоящая работа показывает эволюционное развитие конструкций плавильных печей для плавки петрургического сырья и конструктивно-технологическую характеристику современной промышленной электродуговой печи, а так же некоторые технологические особенности плавки петрургических шихт, Установлено, что перспективным является применения современных электродуговых печей для плавки петрургического сырья в масштабах развития промышленной переработки минерального и техногенного сырья.

Список литературы

1.*Шелудяков Л.П., Касьянов Э.А., Маркоренков Ю.А.* Комплексная переработка силикатных отходов. - Алма-Ата: Паука, 1985. - 107 с.
2.*Чернов В.П., Долгополова Л.Б.* Производство отливок из неметаллических материалов: Учебное пособие. Гриф УМО по образованию в металлургии. - Магнитогорск: МГТУ, 2002. - 257 с.
3.*Чечулин В.А., Ковалев Ю.Г., Новиков А.И., Коваленко В.Г.* О плавке петрургических шихт в дуговых элеткропечах// ИзвВУЗов СССР. Серия «Химия и химические технологии». - №12, 1967. – с. 1371-1375.
4.*Китайгородский И.И.* Теоретические основы синтеза ситаллов из шлаков //Журн. ВХО им. Д. И. Менделеева, 1963. - т. 8, X≫ 2. - С. 192-196.
5.*Папст Г.* Современное состояние процесса восстановительной плавки //Черные металлы. - 1987. - № 22.- С. 3-9.
6.*Игнатова А.М., Шешуков О.Ю., Игнатов М.Н.* Рециклинг текущего доменного шлака с помощью литейного модуля на площадках цехов шлакопереработки металлургических комплексов// Научно-технический вестник Поволжья. - №1, 2013. – с. 46-54.
7.*Игнатов М.Н., Шундиков Е.Н., Игнатова А.М., Шундиков Н.А., Николаев М.М.* Конструкция лабораторной малогабаритной электродуговой установки для плавки фторфлогопита «ДКПП-05». – Тезисы докладов юбилейной НТК «Современные организационные, технологические и конструкторские методы управления качеством». – Пермь: ПГТУ, 2006. – с. 135-137.
8.*Игнатова А.М., Чернов В.П.* Многотоннажная технология переработки металлургических шлаков и отходов горно-обогатительных комбинатов (ГОК) в литые силикатные материалы для различных сфер промышленности, промышленного, гражданского и дорожного строительства//Ползуновский альманах. - № 3 т. 2, 2009. – с. 129-131.
9.*Игнатова А.М., Попов В.Л., Антонов Б.Ю., Игнатов М.Н.* Конструктивно-технологическая характеристика опытно-промышленной малогабаритной дуговой печи для плавки петрургического сырья// Научно-технический вестник Поволжья. - №1, 2013. – с. 54-59.
10. *Игнатова А.М.* Закономерности формирования и разделения металлической и силикатной фаз расплава при условиях восстановительного плавления техногенного металлургического и нерудного сырья// Научно-технический вестник Поволжья. - №5, 2012. – с. 188-193.

05.13.05

[1]Н.Н. Прокопенко д.т.н., [2]В.Г. Манжула к.т.н.

[1]Южно-Российский государственный университет экономики и сервиса,
кафедра «Информационные системы и радиотехника»,
г. Шахты, prokopenko@sssu.ru

[2]Южно-Российский государственный университет экономики и сервиса,
кафедра «Информационные системы и радиотехника»,
г. Шахты, manjula@sssu.ru

МИКРОЭЛЕКТРОННЫЙ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ ДЛЯ СЕНСОРОВ С ВЫСОКИМ ВЫХОДНЫМ СОПРОТИВЛЕНИЕМ

В работе представлен дифференциальный усилитель на основе перекрестного включения параллельно-балансных каскадов с улучшенными значениями входного сопротивления и тока, крутизны и напряжения смещения нуля. Предложенное схемотехническое решение может быть использовано в структуре аналоговых микросхем различного функционального назначения.

Ключевые слова: *дифференциальный усилитель, ток базы, крутизна, входное сопротивление, каскад.*

Создание аналоговых и аналого-цифровых интерфейсов смешанных систем на кристалле, ориентированных на взаимодействие с чувствительными элементами мостового типа (сенсорами), всегда предполагает применение дифференциальных усилителей (ДУ). Существенным недостатком известных ДУ [1] на основе двух параллельно-балансных каскадов на разнотипных транзисторах является небольшое входное дифференциальное сопротивление ($R_{вх}$), зависящее от абсолютных значений коэффициента усиления по току базы (β) применяемых транзисторов и их статического режима. Для повышения $R_{вх} = y_{вх}^{-1}$ в известных ДУ применяется местная отрицательная обратная связь (вводятся эмиттерные резисторы). Однако при этом ухудшаются многие параметры ДУ – коэффициент усиления по напряжению, напряжение смещения нуля, коэффициент подавления помехи по питанию, крутизна усиления ДУ и др [2].

Основная цель разработки предлагаемого ДУ (рис. 1) состоит в повышении на один-два порядка входного сопротивления ДУ без ухудшения его крутизны и ряда других параметров [1].

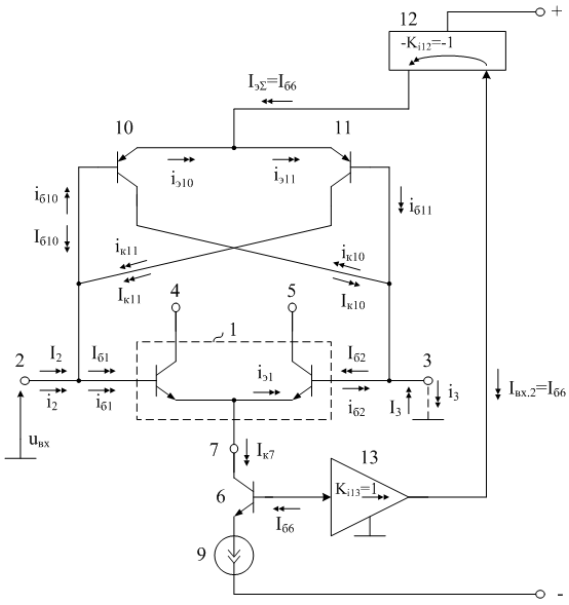


Рис. 1- Базовая структура дифференциального усилителя
с перекрестными параллельно-балансными каскадами

В предлагаемой базовой структуре ДУ (рис.1) в статическом режиме статические входные токи ДУ I_2 и I_3 определяются разностью токов базы входных транзисторов дифференциального каскада 1 и коллекторных токов транзисторов 11 и 10:

$$I_2 = I_{б1} - I_{к11}, \tag{1}$$

$$I_3 = I_{б2} - I_{к10}. \tag{2}$$

Если учесть, что коэффициенты передачи тока подсхем 13 и 12 близки к единице ($K_{i12} = 1$, $K_{i13} = 1$), то из (1) и (2) следует, что входные токи ДУ близки к нулю $I_2 \approx 0$, $I_3 \approx 0$. Это первое достоинство предлагаемой схемы. Второе преимущество предлагаемого устройства состоит в обеспечении компенсация не только статических входных токов I_2 и I_3, но и их приращений i_2 и i_3, и, как следствие, существенного повышения входного сопротивления ДУ для переменного тока. Действительно, при увеличении напряжения $u_{вх}$ на входе 2 относительно входа 3 увеличивается ток базы $i_{б1}$:

$$i_{б1} = \frac{i_{э1}}{1+\beta_1} = \frac{u_{вх}}{(r_{э1} + r_{э2})(1+\beta_1)}, \tag{3}$$

где $r_{э1} = \frac{\varphi_т}{I_{э1}} = r_{э2} = \frac{\varphi_т}{I_{э2}} = \frac{2\varphi_т}{I_{к7}} = \frac{2\varphi_т}{I_9}$; $r_{э1}$, $r_{э2}$ – сопротивления эмиттерных переходов входных транзисторов каскада 1; $\varphi_т = 25$ мВ – температурный потенциал; $I_{к7} = I_9$ - коллекторный ток транзистора 7.

Поэтому

$$i_{б1} = \frac{u_{вх} I_9}{4\varphi_т (1+\beta_1)}. \tag{4}$$

С другой стороны, приращения коллекторных токов транзисторов 10 и 11

$$i_{к10} = \frac{u_{вх}}{(r_{э10} + r_{э11})} = i_{к11}, \tag{5}$$

где $r_{э10} = r_{э11}$ - сопротивления эмиттерных переходов транзисторов 10 и 11. Причем

$$r_{э10} = \frac{\varphi_т}{I_{э10}} = \frac{2\varphi_т}{I_{эΣ}} = r_{э11}. \tag{6}$$

Та как за счет построения подсхем 12 и 13 ($K_{i12} = 1$, $K_{i13} = 1$) обеспечивается равенство

$$I_{э\Sigma} = I_{вх.12}K_{i12} = I_{б6}K_{i13}K_{i12} \approx I_{б6}, \quad (7)$$

то уравнение (6) можно представить в следующем виде

$$r_{э10} = r_{э11} = \frac{2\varphi_т}{I_9/\beta_6} = \frac{2\beta_6\varphi_т}{I_9}. \quad (8)$$

Поэтому коллекторные токи транзисторов 11 и 10, а также входные токи ДУ i_2 и i_3

$$i_{к11} = i_{к10} \approx \frac{u_{вх}}{4\varphi_т\beta_6}I_9, \; i_{вх.2} = i_2 = i_{б1} - i_{к11}, \; i_{вх.3} = i_3 = i_{б2} - i_{к10}. \quad (9)$$

После преобразования находим, что

$$i_{вх.1} \approx \frac{I_9}{4\varphi_т}u_{вх}\left(\frac{1}{\beta_1} - \frac{1}{\beta_6}\right). \quad (10)$$

Поэтому входная проводимость предлагаемого ДУ

$$y_{вх.2} = \frac{I_9}{4\varphi_т\beta_1}\left[1 - \frac{\beta_1}{\beta_6}\right]. \quad (11)$$

Так как $\beta_1 \approx \beta_6$, то из (11) следует, что в предлагаемой схеме $y_{вх}$ существенно уменьшается.

В известном ДУ [1]

$$y^*_{вх.2} = \frac{I_9}{4\varphi_т(1+\beta_1)} + \frac{I_{э\Sigma}}{4\varphi_т(1+\beta_{10})} = \frac{I_9}{2\varphi_т\beta_1}. \quad (14)$$

Следовательно, в предлагаемом ДУ входное сопротивление увеличивается в N_y-раз, где

$$N_y = \frac{y^*_{вх.2}}{y_{вх.2}} \approx \frac{2}{\left|1 - \frac{\beta_1}{\beta_6}\right|} >> 1. \quad (15)$$

На рис. 2 показаны схемы известного и предлагаемого ДУ в среде компьютерного моделирования PSpice на моделях интегральных транзисторов ФГУП НПП «Пульсар».

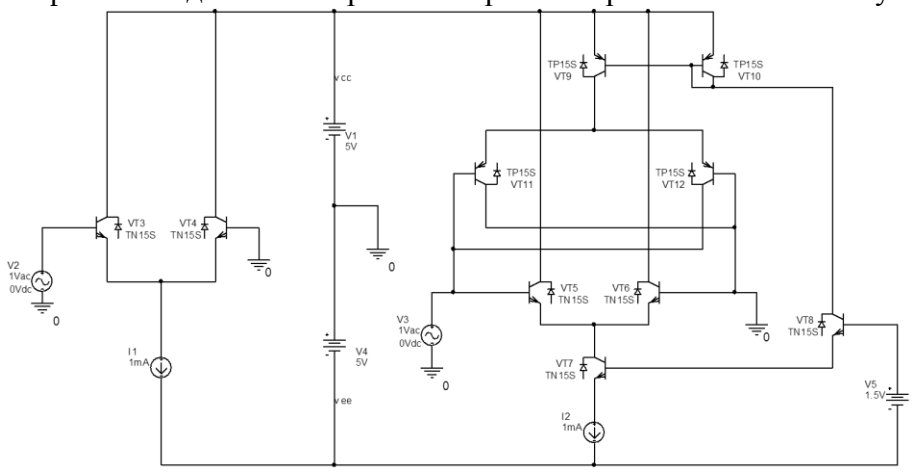


Рис. 2- Схемы известного и предлагаемого ДУ в среде компьютерного моделирования PSpice

Рис. 3 иллюстрирует частотные зависимости входного дифференциального сопротивления известного и предлагаемого ДУ, полученные в результате компьютерного моделирования схем ДУ (рис. 2). Представленные результаты моделирования известной и предлагаемой схем в среде PSpice на моделях интегральных транзисторов ФГУП НПП «Пульсар» подтверждают полученные выше теоретические выводы

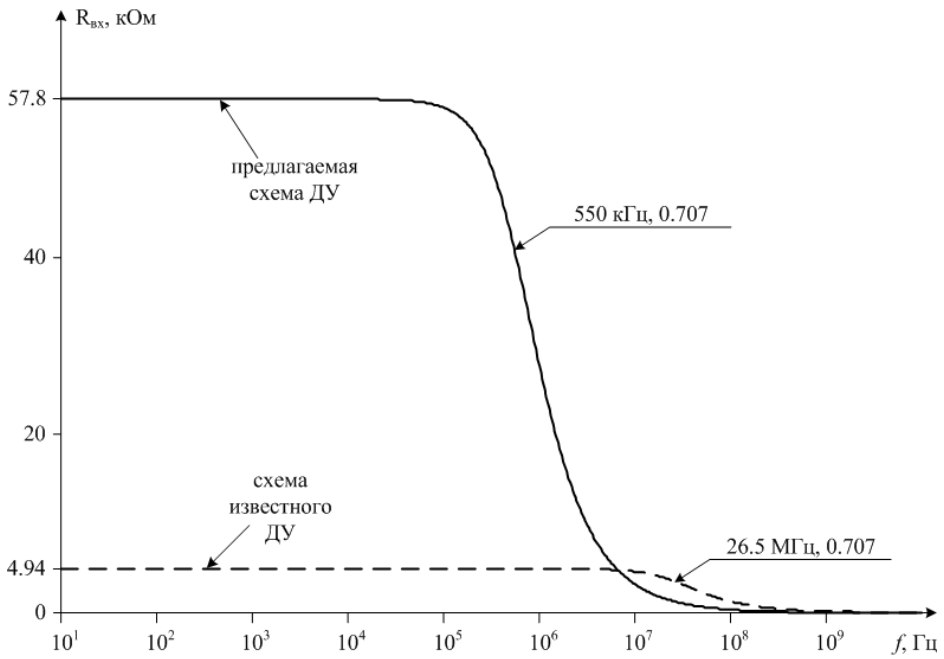


Рис. 3- Частотные зависимости известного и предлагаемого ДУ

Таким образом, разработанный ДУ, использующий перекрестное включение параллельно-балансных каскадов, обладает более чем на порядок лучшими значениями входного сопротивления. Данный результат обеспечивается без ухудшения других параметров ДУ – крутизны и напряжения смещения нуля. Кроме этого, статические входные токи заявляемого ДУ в 8-10 раз меньше, чем в схеме известного ДУ. Предложенное схемотехническое решение дифференциального входного каскада может быть использовано в качестве устройства усиления аналоговых сигналов от датчиков с высоким внутренним сопротивлением, в структуре аналоговых микросхем различного функционального назначения (например, операционных усилителях (ОУ), широкополосных и избирательных усилителях, фильтрах и т.п.) [3-5].

Список литературы

1. *Матавкин В.В.* Быстродействующие операционные усилители [Текст]. – М.: Радио и связь, 1989. - 128 с

2. *Прокопенко, Н.Н.* Особенности проектирования дифференциальных усилителей с повышенным коэффициентом усиления при низкоомной нагрузке [Текст] / Н.Н. Прокопенко, А.И. Серебряков, В.Г. Манжула //
Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. - 2010. - № 103. - С. 39-42.

3. *Манжула, В.Г.* Функционально интегрированная микроэлектронная система защиты на основе быстродействующего датчика температуры [Текст] / В.Г. Манжула // Датчики и системы.- 2012. - № 7. - С. 18-22.

4. *Манжула, В.Г.* Модели, методы и алгоритмы структурно- параметрического синтеза неизбыточных смешанных СФ-блоков [Текст] / В.Г. Манжула // Известия Южного федерального университета. Технические науки. - 2011.- Т. 115. - № 2. - С. 79-87.

5. *Манжула, В.Г.* Моделирование системного уровня процесса обработки информации при синтезе аналоговых сложных функциональных блоков [Текст] / В. Г. Манжула // Системы управления и информационные технологии. – 2010. - Т. 41. - № 3. - С. 36-40.

05.23.22

Т.В. Прохорова

Московский государственный строительный университет,
институт Строительства и архитектуры,
кафедра «Теоретическая механика и аэродинамика»,
Учебно-научно-производственная лаборатория по аэродинамическим
и аэроакустическим испытаниям строительных конструкций,
Москва, ProkhorovaTV@mgsu.ru

ОСОБЕННОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ В УРБАНИЗИРОВАННОЙ СРЕДЕ

В статье проанализированы особенности размещения ветроэнергетических установок на зданиях и определению в связи с этим ветроэнергетического потенциала застройки. Представлены перспективы развития ветропарка на примере комплекса общественной застройки. Раскрыта типологическая основа для принятия решений о размещении ветроэнергетических установок. Публикация выполнена в рамках ГК 16.552.11.7064 от 13.07.2012 г.

Ключевые слова: *Возобновляемая энергия, ветровой режим, ветроэнергетическая установка, архитектурно-конструктивные решения, градостроительство.*

Для градостроительного развития России с учетом климатических особенностей нашей страны вызывает интерес расширение ветроэнергетической отрасли. Учет возможностей интеграции технологий возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в архитектуру зданий и сооружений может помочь развить комплексный подход к энергетике и территориальному планированию, а так же сформулировать новые условия для развития перспективной энергетической специализации субъектов Российской Федерации исходя из природно-климатических и градостроительных условий, а в случае ветроэнергетики исходя из карт ветрового зонирования территорий.

Информация о среднегодовых скоростях ветра по территории позволяет оценить перспективную выработку электроэнергии [5]. Следует отметить, что при организации ветропарков, кроме собственной территории ветроэнергетических установок, мощностью как правило свыше 1 МВт, требуется организация санитарно-защитной зоны. Выработка энергии носит не равномерный характер и требует компенсации спадов нагрузки, даже на территориях с оптимальными условиями. В связи с этим, эффективное использование ветроэнергетических установок возможно в системе с другими видами источников энергии или необходимо предусмотреть расширение их сети, в виде SMART GRID, с возможностью перераспределения вырабатываемой энергии.

Рассмотрение макро-, мезо- и микроуровнях ветрового и аэрационного режимов позволяет проанализировать энергопотенциал и оценить оптимальные условия интеграции в конструкции зданий и сооружений ветроэнергетических установок и с учетом фактора ветрозащиты, размещаемые фотоэлектрические панели. Предоставляется возможность оценивать перспективы развития, реконструкции застройки и развития систем расселения ориентированных на больший энергетический потенциал территории [1,4]. Европейский опыт эксплуатации ветропарков в ряде случаев показал, значительную неравномерность выработки от ветропарков в связи с чем, происходит значительный перерасход энергии из других источников. В подтверждение этого, экспертами Ченстаховского политехнического университета (Польша) была высказана гипотеза о том что, в конечном итоге эксплуатация рассредоточенных по территории ветропарков или отдельных ветроэнергетических установок более выгодна, в связи с тем, что суммарная выработка становится выше из-за

взаимодействия с широким спектром ситуаций ветрового режима. Возникшая в странах Европейского Союза гипотеза «Статистической эффективности работы энергетического оборудования ВИЭ» рассматривает не только ветроэнергетические установки с мощностью в несколько мВт, а и так же малые ветроэнергетические установки с мощностью до 100 кВт. При рассмотрении ветроэнергетического потенциала для территории необходимы соблюдения санитарных условий размещения ветропарков, состоящих из мегаваттных установок. При размещении малых ветроэнергетических установок на зданиях проблемы вибраций и акустики стоят менее остро. Проблема решается использованием в конструкциях крепления дополнительных элементов для погашения вибрации и растяжек для распределения пульсирующей нагрузки от ветра. При этом, важно оценить для малой ветроэнергетической установки ситуацию пограничных течений по поверхности крыши и фасадов [3]. Для штиля летом необходимо так же учесть эффект температурной конвекции, который может формировать в зависимости от ориентации здания по сторонам света и действию солнца в разное время дня локальные потоки воздуха, обладающие скорость около 3 м/с, что является достаточным для работы некоторых ветрогенераторов.

Для натурного моделирования в Московском государственном строительном университете (МГСУ) Учебно-научно-производственная лаборатория по аэродинамическим и аэроакустическим испытаниям строительных конструкций проводит исследования малых ветроэнергетических установок. Планируется размещения солнечно-ветрового парка на крыше зданий МГСУ. Пока произведена опытная установка и запуск для тестирования ветроэнергетической установки, мощностью в 5 кВт на крыше корпуса младших курсов МГСУ (рис. 1). Уже сейчас первые результаты исследования позволяют формировать методы и подходы к оценке размещения этого оборудования. Планируемое расширение типов установок даст возможность сориентироваться не только с проблемы защиты от вибрации и других воздействий, а и оптимизировать размещение подобного оборудования в застройке.

Рис.1 Ветроэнергетическая установка на крыше Корпуса младших курсов МГСУ. Запуск в эксплуатацию в 2012 г.

Таким образом, сформированы основы развития комплексного подхода к проектированию энергоактивных зданий [2]. Это основывается на том что, здание и источники энергии объединены общей системой управления, снижающей потери энергии и рассматриваются

как единое целое. За счет расположения оборудования ВИЭ на конструкциях здания получают энергию, не занимая никакой дополнительной площади территории. Для условий сложного рельефа и ландшафта с широким озеленением интеграция в здание оборудования ВИЭ чрезвычайно актуальна. Энергообеспечение на основе интегрированных ветро-солнечных электростанций позволяет повышать энергоэффективность зданий. В свою очередь, при соблюдении законов эстетики это помогает развивать понятие устойчивой архитектуры и расширить внедрение оборудования ВИЭ. Концепции энергоактивных зданий и комплексов являются необходимой основой для развития устойчивой архитектуры. При этом, основными факторами влияющими на размещение ветроэнергетической установки на зданиях являются следующие:

- Климатический фактор (скорость ветра в нижнем ярусе воздушных масс, использование карт ветровой обстановки);
- Ветровой режим (скорость ветра на мезоуровне городской среды, данные метеостанций);
- Планировочная ситуация застройки (скорость ветра на локальном уровне городской среды, данные численного моделирования и физические эксперименты);
- Экологические ограничения (взаимовлияние ветроэнергетической установки аэрационного режима и распределения загрязненных масс воздуха, шумовое загрязнение);
- Архитектурно-конструктивные ограничения (конструктивная схема и несущая способность конструкций);
- Архитектурно-эстетические ограничения (целостность композиции здания и ветроэнергетической установки).

Подобное комплексное ориентирование позволяет вести дальнейшую разработку типологии по энергетической автономности и понять общие тенденции в развитии технологии ВИЭ. Важно понимать типологические характеристики поселений, их территорий и зданий, а так же то, как они могли бы быть классифицированы с точки зрения потребления энергии. Ситуация с оценкой эффективности применения ВИЭ меняется при рассмотрении нового строительства или поселений в районах без централизованного энергоснабжения. Именно это ниша перспективна для развития рынка ВИЭ. Однако отработка решений и экспериментальная практика внедрения ВИЭ, на примере размещения ветроэнергетических установок, по-прежнему целесообразна в крупных технических и научных центрах.

Список литературы

1. *Алексеев Ю.В., Дуничкин И.В.* Аэродинамические особенности пятиэтажной застройки // Жилищное строительство, №12, 2004.- с. 5-8.
2. *Поддаева О.И., Дуничкин И.В.,* Кочанов О.А. Основные подходы к исследованию возобновляемых источников энергии как энергетического потенциала территорий и застройки // Вестник МГСУ, №10, 2012.- с. 221-228.
3. *Реттер Э.И.* Архитектурно-строительная аэродинамика. М.: Стройиздат, 1985.
4. Руководство по оценке и регулированию ветрового режима жилой застройки. ЦНИИП Градостроительства Госгражданстроя. М.:Стройиздат, 1986.
5. *Фортов В.Е., Попель О.С.* Энергетика в современном мире / М.: Изд.: Интеллект Групп, 2011, стр. 168, ISBN: 978-5-91559-095-2

05.16.08

А.П. Пустовгар, А.Д. Веденин

Московский государственный строительный университет,
НИИ строительных материалов и технологий,
Москва, advedenin@yandex.ru

ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ НАНОКОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ АЭРОГЕЛЯ КРЕМНЕЗЕМА

В статье рассмотрены теплоизоляционные нанокомпозиты на основе аэрогеля кремнезема и технология их получения. Исследовано влияние температуры термообработки нанокомпозита SiO_2–TiO_2 на его структурные и тепловые характеристики. Коэффициент теплопроводности нанокомпозита SiO_2–TiO_2 после термообработки при температуре 300 ^{O}С был равен 0,017(Вт/м•К), измеренный при 21 ^{O}С.

Ключевые слова: *теплоизоляционные нанокомпозиты, аэрогель, амбигель, нанокремнезем.*

Нанокремнезем, мировое валовое производство которого составляет примерно треть от общего производства нанопродукции [1], широко применяется в различных отраслях промышленности, в том числе и в производстве строительных материалов. Различают три основных модификации нанокремнезема. Нанодисперсный кремнезем имеет размер частиц менее 100 нм и как правило существует в коллоидной форме с размером первичных частиц 2 - 5 нм. Наноструктурный кремнезем в пирогенной или ксерогельной форме имеет размер структурных элементов менее 100 нм. Нанопористый кремнезем в форме аэрогеля, до 99,8 % объема которого занимает воздух, является самым легким твердым неорганическим материалом: он в 1000 раз легче стекла и только в четыре раза тяжелее воздуха. Первичные частицы связаны в жесткий агломерированный каркас, средний диаметр пор которого составляет около 50 нм. Благодаря нанопористой структуре аэрогели кремнезема имеют более низкий коэффициент теплопроводности 0,009–0,017 Вт/м•К, чем воздух, у которого он равен 0,024 Вт/м•К. Низкая теплопроводность аэрогеля кремнезема определила создание высокоэффективных теплоизоляционных нанокомпозитов на его основе. Сравнение значений коэффициентов теплопроводности (Вт/м•К), опубликованных авторами [2, 3, 4], для различных теплоизоляционных материалов представлено на рис.1.

Рис. 1- Теплопроводность различных теплоизоляционных материалов

Технологии получения аэрогеля кремнезема [5, 6, 7], состоят из следующих основных этапов: приготовление геля кремнезема, его созревание, сушка и термообработка. При производстве аэрогеля кремнезема сушка является основным этапом, т.к. формирует его структуру, благодаря пористости которой и достигается его низкая теплопроводность. Несмотря на то, что аэрогель кремнезема впервые получен с применением сушки в сверхкритических условиях, коммерчески предпочтительнее субкритическая технология сушки, которая проводится при температурах до 200 ^{O}С и атмосферном давлении [6, 7]. Нанопористые кремнеземы, полученные по такой технологии, получили название амбигели.

Приготовление геля заканчивается образование наночастиц кремнезема, которые затем в результате поликонденсации формируют жесткую сетчатую структуру благодаря установлению силоксановых связей Si–O–Si. В качестве сырьевых компонентов часто используют различные производные силанов [5, 6], но учитывая их дороговизну и токсичность, в последнее время все чаще стали применять субкритические технологии получения аэрогелей кремнезема из силикатов [7].

Нанопористый кремнезем в форме аэрогеля имеет низкую теплопроводность, но ее радиационная составляющая с повышением температуры характеризуется значительным ростом, поскольку коэффициент поглощения диоксида кремния SiO_2 при длинах волн менее 8 мкм очень низок. Чтобы снизить теплопроводность аэрогеля кремнезема необходимо ввести в его структуру глушитель инфракрасного излучения. диоксид титана (TiO_2).

Технология получения нанокомпозита SiO_2–TiO_2 включала следующие стадии: ионообмен метасиликата натрия с получением гидрозоля кремнезема; концентрирование силиказоля, формирование силикагеля и его созревание; получение алкогеля SiO_2–TiO_2; модификация его поверхности; субкритическая сушка алкогеля с образованием амбигеля нанокомпозита SiO_2–TiO_2; его термообработка, гранулирование и классификация.

Основной задачей успешного синтеза нанокомпозита аэрогеля кремнезема является сохранение высокодисперсного состояния его золя, предотвращающего седиментацию порошка диоксида титана. Это обеспечивается стабильностью наполнителя путем контроля времени смешения золя кремнезема и растворов компонентов, а также временем гелеобразования. В золь-гель процессе время гелеобразования зависит от количества и активности катализатора прямо пропорционально, а от количества раствора – обратно пропорционально. Поэтому композиции золя после предварительных экспериментов были оптимизированы мольным соотношением сольвентов и модификаторов: изопропиловый спирт/вода/триметилхлорсилан = 0,25–0,45:1:0,20–0,40, а также объёмным соотношением н-гексан/триметилхлорсилан = 12.

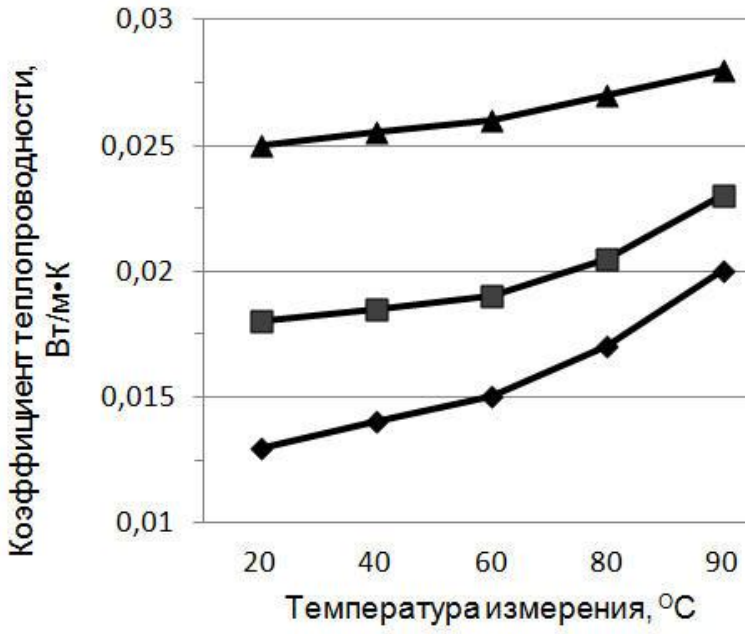


Рис. 2- Зависимость теплопроводности нанокомпозита SiO_2–TiO_2 от температур термообработки: ◆ – аэрогель SiO_2(термообработка при 300°С);
■ – нанокомпозит SiO_2–TiO_2 (термообработка при 300 °С);
▲– нанокомпозит SiO_2–TiO_2 (термообработка при 700 °С)

Измерения коэффициента теплопроводности были выполнены для немодифицированного аэрогеля кремнезема, термически обработанного при 300 °С (плотность аэрогеля была равна 0,27 г/см^3), а также для нанокомпозита SiO_2–TiO_2, термически обработанного при

температурах 300 ^{O}C (плотность нанокомпозита была равна 0,16 г/см^3) и 700 ^{O}C (плотность аэрогеля и нанокомпозита была равна 0,29 г/см^3 и 0,31 г/см^3 соответственно). Содержание диоксида титана в нанокомпозите SiO_2–TiO_2 составляло 3,5 %. График, изображенный на рис.2, показывает, что теплопроводность аэрогеля и нанокомпозита SiO_2–TiO_2 с ростом температуры нагревания испытуемого образца увеличивается. Однако темп роста теплопроводности у нанокомпозита меньше, так как увеличение доли теплопередачи излучением, возникающее с ростом температуры испытуемого образца, гасится инфракрасным глушителем - диоксидом титана, присутствующим в составе нанокомпозита SiO_2–TiO_2.

По сравнению с аэрогелем кремнезема нанокомпозит SiO_2–TiO_2 имеет более высокую теплопроводность в диапазоне температур 20 – 90 ^{O}C, что объясняется использованием в качестве прекурсора силикатов, которые менее эффективны для создания мезопористых структур, снижающих теплопроводность, чем силаны и их производные. Кроме того, наличие титана в каркасе нанокомпозита SiO_2–TiO_2 повышает теплопроводность последнего. Поэтому необходимо дальше развивать методы получения модифицированных нанопористых аэрогелей кремнезема и теплоизоляционных композитов на их основе с целью снижения теплопроводности в различных диапазонах температур их применения.

Статья подготовлена в рамках выполнения ГК № 16.552.11.7064 от 13.07.2012 г.

Список литературы

1. *Шабанова Н.А., Попов В.В., Саркисов П.Д.* Химия и технология нанодисперсных оксидов. М.: Академкнига, 2006. 309 с.
2. *Пустовгар А.П., Веденин А.Д.* Технология получения гранулированных теплоизоляционных нанокомпозитов на основе аэрогеля кремнезема // Сб. тез. докл. XIV Межд. научно-техн. конф. «Наукоемкие химические технологии-2012». М: МИТХТ, 2012. С. 352.
3. *Yokogawa H.* Thermal Conductivity of Silica Aerogels. “Handbook of Sol_Gel Science & Technology”, vol. 2(13). 2005. Kluwer Academic Publishers, New York, USA.
4. *Dowson M., Harrison D., Craig S., Gill Z.* Improving the Thermal Performance of Single Glazed Windows using Translucent Granular Aerogel. International Journal of Sustainable Engineering. 2011. 4(3): 266–280.
5. *Ismail A.A., Ibrahim I.A.* Impact of supercritical drying and heat treatment on physical properties of titania/silica aerogel monolithic and its applications. J. Applied Catalysis A:General. 2008. 346(1–2): 200–205.
6. *Kwon Y.G., Choi S.Y., Kang E.S., Baek S.S.* Ambient-dried silica aerogel doped with TiO_2 powder for thermal insulation. J. Mater. Sci. 2000. 35: 6075–6079.
7. *Hwang S.E., Jang H.H., Hyun H.H., Ahn Y.S.* Effective preparation of crack-free silica aerogels via ambient drying. J. Sol-Gel Sci. Techn. 2007. 41:139–146.

05.23.03

В.Я. Свинцов, Е.Н. Шматова, М.С. Хлыстунов, Р.В. Муканов

Астраханский инженерно-строительный институт,
факультет инженерных систем и энергетики, кафедра теплогазоснабжение и вентиляция,
Астрахань, katrindean@mail.ru

ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИЙ СПОСОБ ДИСПЕРГИРОВАНИЯ ЖИДКИХ ТОПЛИВ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К КОТЕЛЬНЫМ УСТАНОВКАМ

Рассмотрены различные способы диспергирования жидкого топлива, существующего в настоящее время. Выявлены их достоинства и недостатки. Предложен новый способ диспергирования топлива в сильных электростатических полях. Описаны экспериментальные исследования по распылению модельных жидкостей и водно-топливных эмульсий.

Ключевые слова: *распыление, электростатическое распыливание, диспергирование, факел, теплогенерирующие установки.*

Реализуемые на практике в настоящее время способы распыления жидкостей основаны на использовании различных способов подвода энергии. На этом основана классификация наиболее часто применяемых на практике способов распыления жидкостей, представленная на рисунке 1 [1].

Рис. 1 Классификация способов распыления жидкостей

Приведем достоинства и недостатки каждого способа распыления жидкостей и представим в таблице 1.

Таблица 1 - Достоинства и недостатки различных способов распыления

№ п/п	Способ диспергирования топлива	Достоинства	Недостатки
1.	Гидравлическое распыление	-затраты энергии 2-4 кВт на 1 тонну распыливаемой жидкости; -несложная аппаратура;	-грубый и неоднородный распыл; - размер распыливаемых частиц лежит в диапазоне от 50 до 500 мкм
2.	Механическое распыление	-возможность диспергирования вязких и загрязненных жидкостей; -регулировка производительности распылителя без значительного изменения качества распыла (дисперсности);	-вращающиеся устройства распыла дороги, сложны в изготовлении и эксплуатации; -имеют грубый и неоднородный распыл; -размер распыливаемых частиц лежит в диапазоне от 50 до 400 мкм.
3.	Пневматическое распыление	-небольшая зависимость качества распыливания от расхода жидкости; -надежность в эксплуатации; -возможность распыливания высоковязких жидкостей	-повышенный расход энергии на распыливание (50—60 кВт на 1 т жидкости); Диаметр распыливаемых частиц лежит в диапазоне от 40 до 350 мкм.
4	Электростати-ческое распыление	-малое энергопотребление при распыливании; -высокая однородность частиц; -диаметр распыливаемых частиц лежит в диапазоне от 0.5 до 50 мкм. (опытные данные для воды).	-сложность аппаратуры для диспергирования;

Из перечня приведенных выше способов диспергирования, наиболее отвечающее требованиям качественного распыления применительно к жидкому топливу по нашему мнению является электростатический метод [2].

Для экспериментального подтверждения работоспособности устройств электростатического метода диспергирования, проведены оценочные экспериментальные исследования процесса диспергирования на разработанном нами макете распылительного узла, эскиз которого показан на рис 1. В этом макете в качестве штуцера применялась игла 3 от медицинского шприца (диаметр 0,25 мм), закрепленная неподвижно на платформе 2 из электроизолирующего материала. Ниже штуцера расположен высоковольтный электрод 4, на оси симметрии которого расположен штуцер. Электроизолирующий штатив 1 позволяет менять расстояние от иглы до электрода (т.е. геометрию электрического поля), а также работать с высоковольтными электродами разной формы и размеров. Плоский электрод представляет собой диск диаметром 90 мм и высотой 1.5 мм.

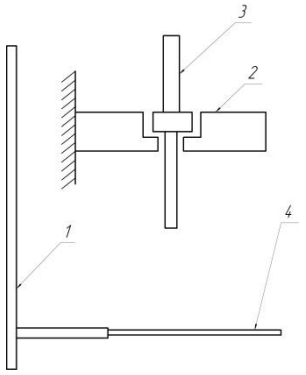


Рис. 1- Макет распылительного узла

Макет позволяет получить сильное электрическое поле в большей области пространства, так как высоковольтный электрод макета имеет практически на порядок большие линейные размеры по сравнению с электродом распылительного узла. Большая протяженность поля увеличивает время воздействия поля на распыливаемую струю и это позволяет надеяться на увеличение степени дисперсности распыленной жидкости.

Были проведены серии экспериментов на чистом машинном масле, которое было использовано в качестве модельной жидкости и имеет схожие с мазутом физические свойства. Масло наливалось в емкость и по штуцеру (игле) под действием сил тяжести вытекало из него и распылялось на второй электрод. При отсутствии напряжения на электродах капля масла увеличивалась постепенно в размерах и при превышении критического размера под действием сил тяжести она отделялась от штуцера. Размер отделяемой капли зависел главным образом от температуры распыляемой модельной жидкости, то есть от её вязкости. При повышении напряжения на электродах до определенного значения процесс отделения капли от штуцера становился интенсивнее, а размер капель уменьшался. При дальнейшем увеличении напряжения на электродах при достижении определенного значения напряженности электростатического поля происходило резкое «схлопывание» сопровождаемое звуковым эффектом и происходило очень мелкодисперсное (практически не видимое глазу) распыление. В том что распыление происходит, можно было судить о появлявшемся ареоле круглого размера в котором визуально было видно результат падения распыляемой жидкости (визуальный эффект можно сравнить с «кипением» в этом ареоле). Различные методы подсвечивания распыляемого факела позволили получить отчетливые снимки данного процесса, показаны на рисунке 2.

Дальнейшее увеличение напряжения на электродах приводило к увеличению размера «ареола» распыления, что позволяет нам сделать первичный вывод, что процесс распыления является регулируемым. В будущем при разработке устройства диспергирования жидкого топлива для котельных установок это будет одним из основных условий для организации работы котла на долевых (отличных от номинального) режимах.

Вторая серия экспериментов была проведена с целью проверить, как изменится характер процесса при распылении водомасляной эмульсии. Водомазутная эмульсия, представляющая собой своеобразный коллоидный раствор, и является особым типом топлива, количественно качественно и изменяющим процесс его окисления (горения). При горении капель эмульгированного топлива наблюдается ряд явлений, не присущих горению капель однокомпонентного топлива, так называемые «микровзрывы». Возникновение этого явления можно объяснить разными температурами кипения мазута и воды. Попадая в топочное пространство, содержащиеся в эмульсии высокодисперсные частицы водяных фракций практически мгновенно испаряются, превращаясь в паровые пузырьки, которые как бы «разрывают» капельки жидкого топлива (мазута) на мельчайшие частицы. В результате происходит вторичное, более тонкое диспергирование топлива. Использование водотопливных эмульсий позволяет уменьшить эмиссию оксидов азота, сернистого ангидрида, и полностью исключил недожог (CO = 0), что положительно сказывается в первую очередь на экологичности выбросов от котельных установок. По нашему предположению, добавление воды как электропроводящей жидкости позволит изменить электропроводимость смеси и улучшить электростатическое распыление.

Водомасляная эмульсия с содержанием воды от 2 до 10 процентов создавалась в бытовом приборе типа «миксер» при одновременной загрузке масла и воды. Получаемая эмульсия в процессе перемешивания становилась однородной непрозрачной жидкостью молочного цвета (эмульсия машинного масла и воды). Далее эмульсия заливалась в емкость и через штуцер подавалась в распылительный узел. Проведенные эксперименты показали, что при распылении эмульсии процесс начинался при меньшем напряжении на электродах в отличии от экспериментов на чистом масле, а сам процесс распыления был более регулируемым и при достижении определенного напряжения получался отчетливый факел распыления (см. рис. 2). При дальнейшем увеличении напряжения факел менял размер, что подтверждало

наш первоначальное предположение о регулируемости процесса распыления в зависимости от подаваемого напряжения на электродах.

Рис. 2- Распыление водомасляной эмульсии

Получаемое при использовании водомасляной эмульсии распыление более интенсивное и визуальное более мелкодисперсное, чем при использовании чистого масла.

Представленные выше результаты экспериментальных исследований подтверждают эффективность нового метода и, соответственно, перспективность разработки электростатического метода и устройства применительно к организации процесса сжигания жидкого топлива в топках котельных агрегатов.

Дальнейшее проведение исследований на модельных жидкостях и мазуте позволят подтвердить или опровергнуть преимущества электростатического способа распыления применительно к мазуту его актуальность и возможность использования в топочных устройствах теплогенерирующих установок.

Список литературы

1. *Хмелев, В.Н., Шалунов А.В., Шалунова А.В.*. Ультразвуковое распыление жидкостей. Бийск: АлтГТУ.2010. 272 с.
2. *Салимов А.У. и др.* Вопросы теории электростатического распыливания. Ташкент: АН УзССР, 1968. 160 с.

05.13.01

[1]В.С. Симанков д.т.н., **[2]Е.С. Тарасов** к.т.н., **[3]С.А. Шилов**

[1]Институт информационных технологий и безопасности
Кубанского государственного технологического университета, vs@simankov.ru

[2]Кубанский государственный технологический университет,
кафедра компьютерных технологий и информационной безопасности, helisar@mail.ru

[3]Кубанский государственный технологический университет,
кафедра компьютерных технологий и информационной безопасности, shilov_sa@bk.ru

КОНЦЕПЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ ИЕРАРХИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ СИТУАЦИОННЫХ ЦЕНТРОВ КАК ПЛАТФОРМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ И АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ

В статье рассмотрены подходы к построению иерархической системы ситуационных центров органов госдарственной власти на базе методик ситуационного анализа, моделирования и управления. Указанная система ситуационных центров, являющаяся сложным распределенным комплексом, выступает в качестве платформы развертывания интеллектуальных систем поддержки принятия решений и управления в режиме реального времени с учетом специфики рассматриваемых проблем и окружающей среды с возможностью работы в условиях неполноты, противоречивости и нечеткости исходной информации.

Ключевые слова: *ситуационный центр, принятие решений, управление, моделирование.*

В современных условиях аппарат руководителя нуждается не только в традиционных системах сбора и обработки информации, но и в аналитических моделях, позволяющих оперативно оценить реальное состояние региона, предусмотреть тенденции развития и проанализировать возможные последствия управленческих решений [1]. На сегодняшний день эти задачи позволяют решить ситуационные центры (СЦ), которые представляют собой автоматизированный информационно-аналитический комплекс, где принимаются стратегические решения, и из которого осуществляется управление всеми аспектами деятельности региона.

Технологической основой информатизации государственного управления становится единая система ситуационных центров органов власти РФ (Президента России, Контрольного управления Президента РФ, Совета Безопасности РФ, ФСО России, министерств и ведомств). Ситуационные центры всех уровней взаимосвязаны между собой защищенными телекоммуникационными сетями и системами видеоконференцсвязи. Это позволяет в режиме реального времени принимать адекватные управленческие решения по вопросам развития во всех сферах деятельности (рис. 1).

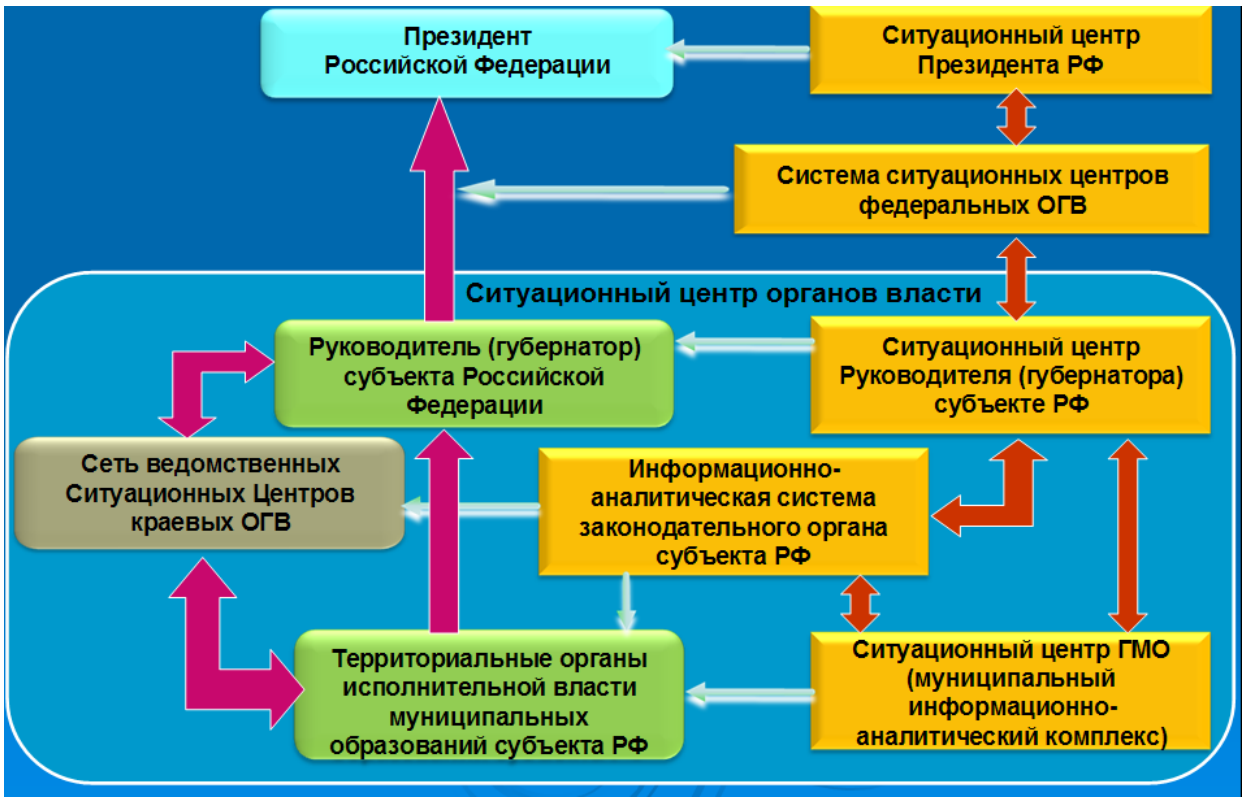


Рис. 1 - Иерархия ситуационных центров и информационно-аналитических систем органов государственной власти

Для выполнения указанных функций необходимо обеспечить решение ситуационным центром ряда ключевых задач:

- интеграция различных информационно-аналитических ресурсов в разрезе основных сфер деятельности региона;
- осуществление мониторинга индикаторов социально- экономического развития региона в муниципальном и отраслевом разрезе;
- реализация аналитических задач социально-экономического развития субъекта РФ (комплексная оценка ситуации, расчет сводных, рейтинговых оценок);
- выполнение экспериментальных имитационных и целевых прогнозных расчетов социально-экономического развития субъекта РФ с использованием сценариев на основе комплекса моделей региона и его муниципальных образований;
- формирование экспертных заключений и выработка рекомендаций по принятию управленческих решений в вопросах социально- экономического развития;
- своевременное и наглядное предоставление руководству отчетной, аналитической и прогнозной информации, необходимой для принятия адекватных решений оперативного и стратегического характера с применением средств деловой графики, картографии, табличного и текстового представления информации.

Такой подход обеспечит построение единого информационного пространства органов власти для подачи информации на верхние уровни управленческой иерархии государства с наименьшими искажениями и задержками, с максимальным исключением субъективного влияния на информацию на промежуточных уровнях. В этом случае открываются перспективы анализа информации, агрегированной на четырех уровнях обобщения - федеральном, окружном, областном, муниципальном.

На основе структурно-функционального подхода (т.е. с учетом приоритета функциональности системных единиц по отношению к их структуре, требований к адаптивности системы в целом, ее устойчивости и эффективности взаимодействия со смежными подсистемами [2], а также регуляции внутренних связей и поведения отдельных

частей системы), реализация данной концепции – интегрирования СЦ руководителя региона в единую иерархию информационных систем органов государственной власти – позволит обеспечить эффективное решение наиболее существенных задач повседневной деятельности руководителя ОГВ, в том числе:

- сопровождение разработки проекта бюджета и программы социально-экономического развития, а также отчеты об их исполнении;
- разработка и поддержка реализации планов и программ комплексного социально-экономического развития;
- сбор статистических показателей, характеризующих состояние экономики и социальной сферы;
- аналитическое сопровождение разработки долгосрочные целевые программы и оценку эффективности их реализации;
- информационно-аналитическое и технологическое обеспечение процессов разработки планов и программ развития;
- обеспечение поддержки принятия решений при мониторинге и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций;

Данный перечень в ходе конкретных реализаций подсистем СЦ ОГВ представляется в виде функциональных требований к отдельным модулям и подсистемам информационно-аналитического комплекса (рис. 2).

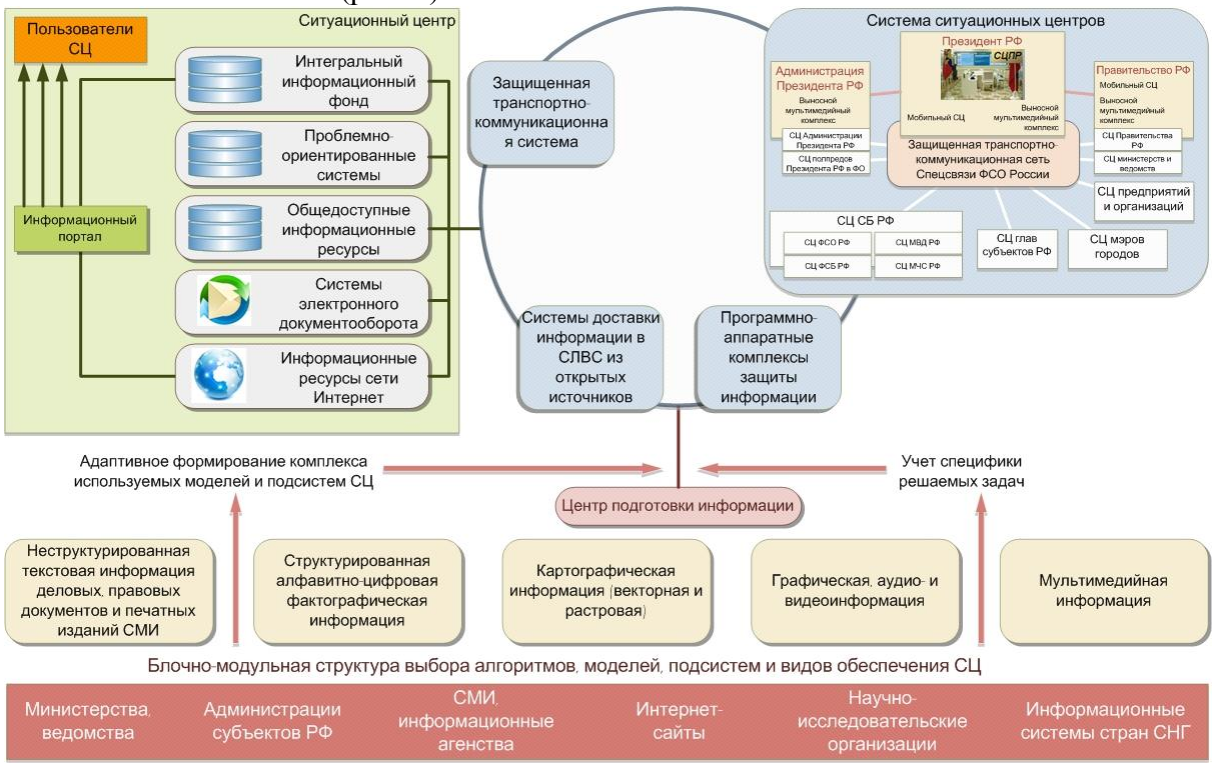


Рис. 2 – Адаптивность структуры и видов обеспечения СЦ.

Следует особо подчеркнуть универсальность предлагаемой архитектуры и набора модулей комплекса, возможность применения разработанной структуры для широкого спектра задач ОГВ. Адаптивность архитектуры позволяет не только эффективно решать задачи руководителей, но и обеспечивает высокую мобильность и выполнение требований интегрируемости в иерархическую структуру СЦ [6].

Помимо адаптивного отбора (с учетом специфики решаемой проблемы) в ходе решения конкретной задачи наиболее эффективных методов, моделей, алгоритмов и используемых подсистем СЦ (рис. 3), особо следует отметить важность тщательной проработки вопросов интуитивно понятного интерфейса и подсистемы визуализации [3, 5, 6].

Рис. 3 – Формирование набора используемых подсистем и алгоритмов СЦ

Использование современных мультимедиа-технологий (для целостного и образного представления проблемных ситуаций ЛПР), когнитивной графики и средств интеллектуальной визуализации и системы виртуализации в дополнение к средствам когнитивной графики значительно повышают эффективность работы руководителя с программно-техническими комплексами СЦ, расширяя сферу интерфейсного взаимодействия [6] (рис. 4).

Можно выделить три основных режима функционирования СЦ:

- Режим повседневной деятельности: мониторинг и выявление проблемных ситуаций; информационно-справочное обслуживание.
- Режим реализации плановых мероприятий: представление аналитических материалов; анализ и рассмотрение вариантов решения; подготовка докладов.
- Кризисный режим: анализ структуры, параметров и возможных направлений развития кризисных ситуаций; ликвидация кризисных ситуаций; управление широкомасштабными кризисными ситуациями с привлечением сторонних ресурсов.

Рис. 4 – Интерфейс визуализации и когнитивного взаимодействия

В каждом из этих режимов необходимо обеспечить аналитическое сопровождение процедур принятия решений в условиях многокритериальности, многофакторности, неопределенности и при наличии большого числа ограничений. Это предполагает подключение адаптивной системы поддержки принятия решений, предназначенной для

формализации и актуализации слабоструктурированных и неструктурированных задач планирования, прогнозирования и управления в режиме реального времени [4,5].

Функциональная схема данной информационно-аналитической системы должна быть построена таким образом, чтобы при рассмотрении задач, относящихся к различным предметным областям, система перенастраивалась на конкретную проблемную ситуацию. Возможность организации БД и БЗ больших объемов позволяет использовать накопленную информацию при решении различных задач, с учетом методов генерации решений, формирования системы критериев и выбора решений, в зависимости от предметной области проблемы. В случае необходимости привлечения группы внешних экспертов следует также обеспечить их взаимодействие с системными аналитиками всех этапах организации и проведения экспертизы, а также анализа и обобщения ее результатов.

Важнейшим требованием к СЦ, обеспечивающим быстрый и качественный анализ информации, является реализация функций мобильности и переносимости на платформе Notebook или планшетных компьютеров типа iPad - другими словами, реализация персонального мобильного СЦ руководителя с выполнением требований по интегрированности, синхронизации, надежности и защищенности. Реализация функций мобильности дополняет возможности "классической" архитектуры ситуационного центра, позволяя принимать качественные управленческие решения в любых ситуациях, в том числе и в режиме реального времени, обеспечивая:

- получение актуальных данных из информационных фондов СЦ;
- получение информации средств электронных СМИ (Интернет);
- воспроизведение аудио- и видеоинформации с различных носителей;
- организацию закрытой видеоконференцсвязи;
- поддержка полного спектра аналитических возможностей ИАС:
    - Стратегическое и оперативное планирование
    - Мониторинг, оценка, анализ и прогнозирование ситуации
    - Подготовка и рассмотрение вариантов решений
    - Обеспечение информационной поддержки коллективного принятия решений
    - Доведение решений до исполнителей и их контроль

В заключение следует подчеркнуть важность процедур интеграции СЦ руководителя субъекта РФ в единое информационное пространство - иерархическую систему ситуационных центров органов государственной власти РФ. Эта система в настоящее время является технологической основой информатизации государственного управления, и, соответственно, выстраивания иерархических и информационных взаимосвязей СЦ всех уровней на базе защищенных сетей и систем видеоконференцсвязи [6].

Таким образом, рассмотренный в работе подход предполагает создание комплекса методик и моделей, составляющих основу системы, а также алгоритмов работы с настройкой на различные режимы функционирования и предметные области в соответствии с решаемой задачей и обеспечит поддержку процесса принятия управленческих решений в рамках организации ситуационных центров органов государственной власти.

Реализация такой системы в полном объеме обеспечит, с одной стороны, интеллектуальную поддержку принятия решений в условиях нечеткости и слабой структурированности исходной информации, возможность многокритериальной оптимизации, оперативного управления, мониторинга и контроля, прогнозирования и оценку предложенных решений при формировании управляющих воздействий с учетом специфики информации и методов ее защиты. С другой стороны – повышение эффективности и экономию ресурсов, возможность учета экспертных знаний в дальнейшем принятии решений, частичную автоматизацию этих процессов и возможность ситуационного управления ими.

Список литературы

1. *Симанков В.С.* Автоматизация системных исследований./ Кубан. гос. технол. ун-т. – Краснодар, 2002. – 376 с.
2. *Перегудов Ф.И., Тарасенко Ф.П.* Основы системного анализа: Учеб. 2-е изд., доп. – Томск: Изд-во НТЛ, 1997. – 396 с.
3. *Тарасов Е.С.* Разработка лингвосемантических методов обработки экспертной информации для ситуационных центров органов государственной власти. дисс. канд. техн. наук; 05.13.01: Краснодар, КубГТУ, 2011 - 129 с.
4. *Кини Р.Л., Райфа Х.* Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения: Пер. с англ. /Под ред. И. Ф. Шахнова. – М.: Радио и связь, 1981. – 560 с.
5. *Трахтенгерц Э.А.* Компьютерная поддержка формирования целей и стратегий. Системы и проблемы управления. – М.: СИНТЕГ, 2005. –224 с.
6. Ситуационные центры и перспективные информационно-аналитические средства поддержки принятия решений // Материалы научно-практической конференции. РАГС. 7-9 апреля 2008 года / Под общ. ред. А.Н. Данчула. — М.: Изд-во РАГС, 2009. — 352 с.

05.11.16

В.В. Слепцов, А.М. Васильев, М.А. Костромин, А.П. Резько

Московский государственный университет приборостроения и информатики,
факультет приборостроения, кафедра приборов и информационно-измерительных систем,
Москва, v_slepsov@gmail.com

АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК И СИНТЕЗ КОНТУРОВ ПОЛОЖЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ И УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ ЛАЗЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

В работе рассмотрены технические характеристики контуров положения информационно-измерительных и управляющих систем лазерных технологических установок. Проведен их анализ и синтез. Показано, что для обеспечения хороших динамических характеристик наиболее целесообразно применение регулятора положения с переменной структурой

Ключевые слова: *контуры положения, информационно-измерительные и управляющие системы, лазерные технологические установки*

Лазерные технологические установки (ЛТУ) широко применяются в промышленности из за своего быстродействия, точности, простоты и удобства применения [1]. Любая ЛТУ состоит из собственно лазера, информационно-измерительной и управляющей системы (ИИУС) и механической системы. При этом ИИУС содержит устройство управления, комплекс контуров положения с электродвигателями и датчиками положения и скорости. Следует отметить, что характеристики как самой ЛТУ, так и ИИУС во многом зависят от характеристик контуров положения (КП).

В настоящее время КП строят по схеме с подчиненным регулированием параметров [2], функциональная схема такого КП представлена на рис.1.

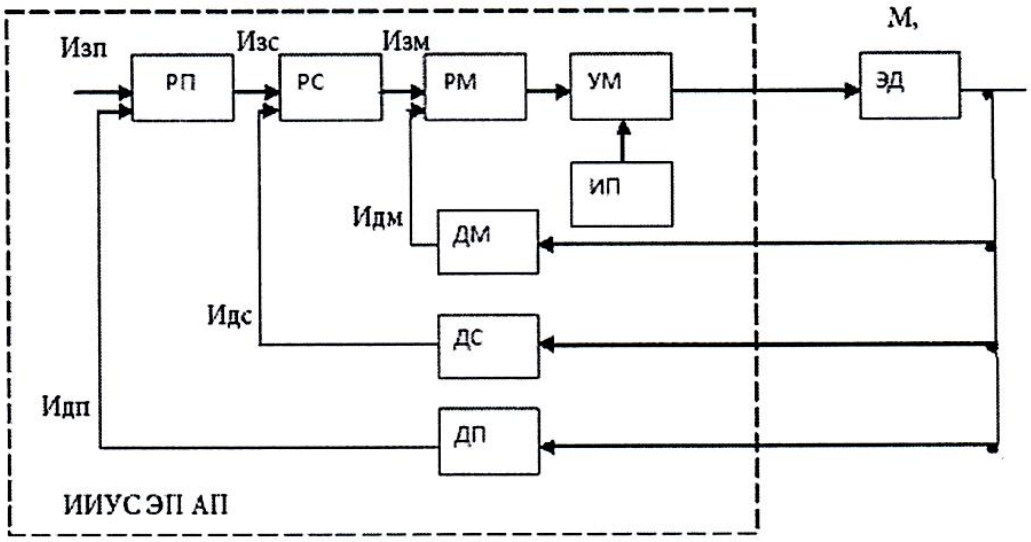


Рис. 1 - Функциональная схема КП

Изп, Изс, Изм - соответственно сигналы задания положения, скорости и момента (тока);
Идп, Идс, Идм - соответственно сигналы с датчиков положения, скорости и момента;
М, Ω, γ - соответственно момент, скорость и положение исполнительного органа ЭД;
РП, РС, РМ - соответственно регуляторы положения, скорости и момента;
ДП, ДС, ДМ - соответственно датчики положения, скорости и момента;
УМ - усилитель момента;
ИП - источник питания.

Разработке математических моделей ЭП посвящено немало работ, однако они, как правило, носят частный характер – например для ЭП с двигателем постоянного тока, асинхронным двигателем и т.д. Однако, в случае применения электроприводов, использующих схему с подчиненным регулированием параметров, можно обеспечить единый подход к разработке математических моделей ЭП. В работе [2] приведены результаты такого подхода. Показано, что наиболее удобным видом математической модели ЭП является структурная схема, представленная на рис. 2.

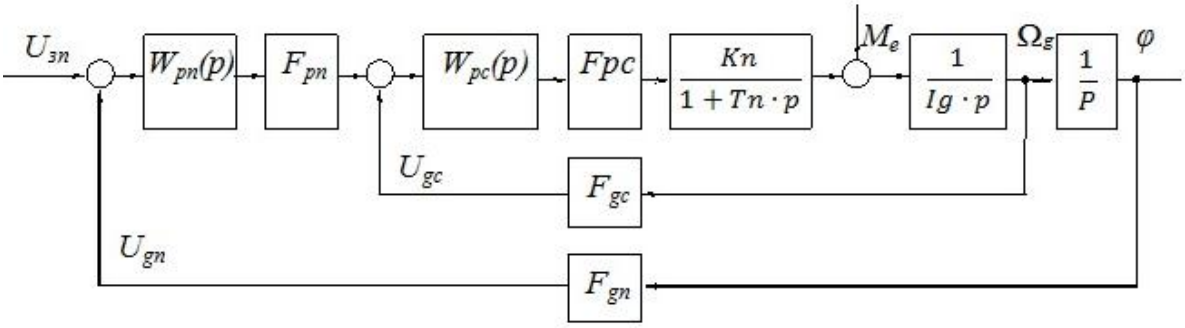


Рис. 2 - Обобщенная структурная схема электропривода

F_{pn}, F_{pc} – нелинейности, отображающие особенности регуляторов положения и скорости;

$F_{pn}\, F_{pc}$ – нелинейности, отображающие особенности датчиков положения и скорости;

$W_{pn}(p)$, $W_{pc}(p)$ – передаточные функции регуляторов положения и скорости;

K_n, T_n – коэффициент передачи и постоянная времени контура момента;

J – момент инерции электродвигателя;

$U_{зп}$, U_{gn} – соответственно сигналы задания и с датчика положения;

M_e – внешний момент.

Очень часто (при пренебрежении эффектами квантования по уровню и времени вместо нелинейностей F_{gn} и F_{gc} можно использовать коэффициент передачи $K_{дп}$, $K_{дс}$).

Следует отметить, что нелинейность F_{pc} представляет собой типовую нелинейность типа «насыщение», а вот нелинейность F_{pn} выбирается из условия получения определенного вида переходных процессов (трапецеидальной тахограммы) и представлена на рис. 3.

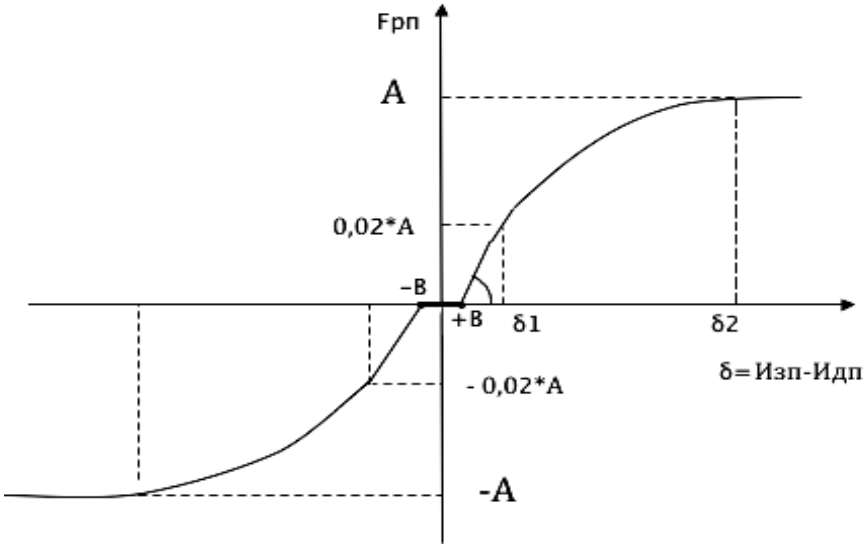


Рис. 3 - Нелинейность F_{pn}

Контур скорости обычно настраивают на симметричный оптимум, тогда:

$$W_{pc}(p)\frac{K_n}{1+T_n p}\frac{1}{I_g p}K_{dc}=\frac{1+4\tau_1 p}{8\tau_1^2 p^2(1+\tau_1 p)} \qquad (1)$$

где: $\tau_1=\min T_i, T_i=T_n$,

тогда $$W_{pc}(p)=\frac{I_Д(1+4T_n p)}{8T_n^2 K_n K_{ДС} p}=\frac{K_{pc}(1+T_{pc}p)}{p}. \quad (2)$$

В этом случае

$$W_{kc}(p)=\frac{1+4T_n p}{K_{ДС}(1+16T_n p+8T_n^2 p^2+8T_n^3 p^3)}\approx\frac{1/K_{ДС}}{1+2T_n p}=\frac{Kc}{1+T_c p}. \quad (3)$$

Конечно, такое упрощение не совсем соответствует реальным переходным процессам в электроприводе, но оно вполне допустимо для синтеза его контуров.

Контур положения настраивают на технический оптимум [3]:

$$W_{pn}(p)\frac{K_c}{1+T_c}\frac{1}{p}K_{ДП}=\frac{1}{2\tau_2 p(1+\tau 2p)}, \quad (4)$$

где $\tau_2=T_c$,

тогда

$$W_{pn}(p)=\frac{1}{2T_c K_c K_{ДП}}=\frac{K_{ДС}}{8K_{ДП}T_n}. \quad (5)$$

В этом случае:

$$W_{kn}(p)\approx\frac{1}{K_{ДП}}\frac{1}{1+2T_c p}=\frac{1}{K_{ДП}}\frac{1}{1+4T_n p}. \quad (6)$$

В случае настройки контура положения на симметричный оптимум имеем:

$$W_{pn}(p)\frac{K_c}{1+T_c p}\frac{1}{p}K_{ДП}=\frac{1+4\tau_2 p}{8\tau_2^2 p^2(1+\tau_2 p)} \quad (7)$$

$$W_{pn}(p)=\frac{1+4\tau_2 p}{8\tau_2^2 K_c K_{ДП} p}. \quad (8)$$

Анализ контуров положения ИИУС ЛТУ проводился методом математического моделирования с помощью пакета программ «SIAM» на примере лазерной технологической установки ЛТУ-1.

Параметры контура (для модели, представленной на рис.2.):

Kn=0,3 $H\frac{м}{В}$; Tn=0,001с; J=0,001кг$\times м^2$;

$K_{дс}$=0,03 $В\frac{с}{рад}$; $K_{ДП}=5000 дискрет/рад$,

$$W_{pc}(p)=12000\frac{1+0,004p}{p}. \quad (9)$$

В этом случае при настройке на оптимум по модулю имеем:

$$W_{pn}(p)=K_{pn}=0,15. \quad (10)$$

При настройке на симметричный оптимум имеем:

$$W_{pn}(p)=20(1+0,008)/p. \quad (11)$$

Анализ полученных результатов, проведенный путем математического моделирования, проведенный с помощью стандартного пакета, показал, что при примерно одинаковом быстродействии (временам переходных процессов) сам вид переходных процессов различен – при пропорциональном регуляторе они более плавные, а ошибка в контуре положения с регулятором положения, описываемым уравнением (8), значительно меньше (в 7 раз) чем в контуре положения с регулятором положения, описываемым системой уравнений [2], а для обеспечения хороших динамических характеристик наиболее целесообразно применение регулятора положения с переменной структурой.

Список литературы

1. *Сапрыкин Д.Л.* Лазерные технологии для модернизации. Ж. Технология машиностроения, №11, 2011, с. 73 – 80.
2. *Аблаева А.Е., Гарипов В.К., Лукашкин В.Г., Мелкова С.О. Слепцов В.В.* Информационно-измерительные и управляющие системы лазерных технологических установок. Концепция проектирования. М.: МГУПИ, 2011.- 105 с.
3. Справочник по автоматизированному электроприводу / Под редакцией В.А. Елисеева, А.В. Шинянского. – М.: Энергоиздат, 1983, 616с.

05.13.18

А.В. Татосов д.ф.-м.н.

Тюменский государственный университет,
Институт математики, естественных наук и информационных технологий,
кафедра математического моделирования,
Тюмень, atatosov@utmn.ru

ПРОТЕКАНИЕ НЕСМЕШИВАЮЩИХСЯ ЖИДКОСТЕЙ ПО СИСТЕМЕ КАПИЛЛЯРОВ

Предложена модель движения жидкостей по системе капилляров, основанная на введении интегральной величины капиллярного скачка давления. Приведен пример двухфазного вытеснения на двумерной сетке. Установлено, что втекание смачивающей жидкости во входном сечении происходит, как правило, через наиболее широкие капилляры.

Ключевые слова: *пористая среда, фильтрация, жидкость.*

Введение

Неустановившиеся движения многофазных сред в пористых средах представляют интерес в гидрологии и нефтегазовой отрасли. На больших масштабах капиллярные эффекты отходят на второй план, но в масштабах пор играют главную роль. Исследование течений на микроуровне представляет особый интерес. Важные характеристики фильтрационного течения, такие как относительные фазовые проницаемости, определяются структурой порового пространства и свойствами жидкостей. С целью изучения свойств таких течений создаются сетевые моделей, когда пористая среда заменяется решеткой капилляров [1-4]. В модели [5] учитывается временная эволюция глобального капиллярного давления. В данной работе предлагается иной подход микширования потоков.

1. Математическая постановка задачи

1.1 Геометрия пористой среды

Пористая среда представляет собой решетку трубок равной длины и различного среднего радиуса, который выбирается случайным образом из некоторого интервала значений (рис. 1). Объемом узлов сетки пренебрегаем. Будем также считать, что обе жидкости несжимаемые, разделены менисками и движутся с одной скоростью в каждом капилляре. Первая жидкость является смачивающей.

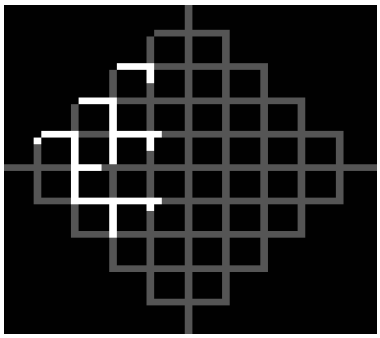


Рис. 1– Схема пористой среды в виде двумерной сетки капилляров.
Светлый тон соответствует вытесняющей жидкости

1.2 Течение в капилляре

Рассмотрим следующую распространенную зависимость капиллярного скачка давления от положения мениска [5]

$$p_c = \frac{2\gamma}{r}\left[1-\cos\frac{2\pi x_c}{l}\right], \quad 0 \le x_c \le l .$$

Ввиду того, что закон Лапласа содержит угол смачивания, данная формула имеет различную трактовку. Кинематика движения менисков

$$\frac{dx_c}{dt} = v, \quad v = -\frac{r^2}{8\mu_{eff} l}\left(p_2 - p_1 - \tilde{p}_c\right);$$

подразумевает, абстрактно, капилляр, как трубку постоянного среднего радиуса r (рис. 2).

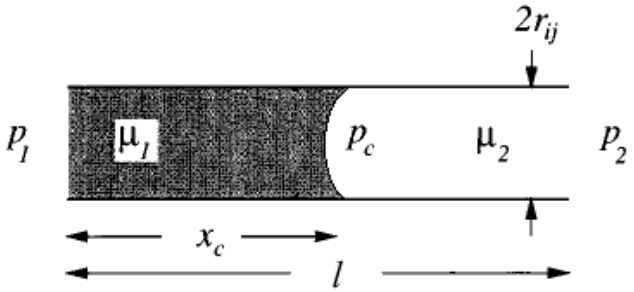


Рис.2– Схематическое представление одиночного капилляра, содержащего один мениск

1.3 Течение по системе капилляров

Непрерывная модель. Смешивание потоков в узлах сетки и образование системы менисков опишем следующим образом. Введем функцию насыщенности капилляра s. Определим значение насыщенности во входном сечении трубки, как объемную долю первой жидкости к полному втекающему объему. Далее, значение s переносится со скоростью потока.

Рассмотрим два частных случая для отдельного капилляра. Пусть

$$s = \begin{cases} 1, & 0 \le x \le x_1 \\ 0, & x_1 < x \le l \end{cases}$$

т.е. имеем один мениск, в трубке, отделяющий первую и вторую жидкости. При этом скачок давления, обусловленный капиллярными силами, можно представить, как

$$\tilde{p}_c = \frac{2\gamma}{r}\left[1-\cos\frac{2\pi x_1}{l}\right] = \frac{4\pi\gamma}{rl}\int_0^{x_1}\sin\frac{2\pi x}{l}dx = \frac{4\pi\gamma}{rl}\int_0^{l}\sin\frac{2\pi x}{l}\cdot s(x)dx .$$

Пусть

$$s = \begin{cases} 1, & x_1 \le x \le x_2 \\ 0, & x \in [0, x_1) \cup (x_2, l] \end{cases}$$

тогда имеем каплю первой жидкости, ограниченной двумя менисками. Суммарный капиллярный скачок, есть

$$\tilde{p}_c = -\frac{2\gamma}{r}\left[1-\cos\frac{2\pi x_1}{l}\right] + \frac{2\gamma}{r}\left[1-\cos\frac{2\pi x_2}{l}\right] = \frac{2\gamma}{r}\left[\cos\frac{2\pi x_1}{l} - \cos\frac{2\pi x_2}{l}\right] =$$

$$= \frac{4\pi\gamma}{rl}\int_{x_1}^{x_2}\sin\frac{2\pi x}{l}dx = \frac{4\pi\gamma}{rl}\int_0^{l}\sin\frac{2\pi x}{l}\cdot s(x)dx .$$

Оба окончательных выражения совпадают

$$\tilde{p}_c = \frac{4\pi\gamma}{rl}\int_0^{l}\sin\frac{2\pi x}{l}\cdot s(x)dx . \qquad (1)$$

Данное модельное представление для суммарного капиллярного скачка, являющееся точным для кусочно-постоянной $s \in \{0, 1\}$, примем для общего случая кусочно-непрерывной $s \in [0, 1]$.

Конвективный перенос насыщенности в отдельно взятом капилляре описывается уравнением

$$\frac{ds}{dt}=\frac{\partial s}{\partial t}+v\frac{\partial s}{\partial x}=0,$$

или

$$\frac{\partial s}{\partial t}+\frac{\partial sv}{\partial x}=0. \qquad (2)$$

Эффективную вязкость потока протекающих жидкостей определим, как

$$\mu_{eff}=\frac{1}{l}\int_0^l\left[\mu_1 s+\mu_2\left(1-s\right)\right]dx. \qquad (3)$$

Динамику движения примем согласно [6]

$$v_{ij}=-\frac{r_{ij}^2}{8\mu_{eff}l}\left(p_j-p_i-\tilde{p}_c\right), \qquad (4)$$

$$q_{ij}=\pi r_{ij}^2 v_{ij}\ . \qquad (5)$$

Здесь i и j − инцидентные ребру узлы.

Во внутренних узлах сетки выполняются условия баланса жидкостей

$$\sum_j s_{ij}q_{ij}=0, \qquad (6)$$

$$\sum_j q_{ij}=0, \qquad (7)$$

где суммирование распространяется по инцидентным i-му узлу ребрам. Исходящие от узла потоки имеют равные насыщенности.

Из (7) приходим к системе линейных неоднородных уравнений относительно давлений p_i для внутренних узлов сетки [7]

$$\sum_j g_{ij}\left(p_j-p_i-\tilde{p}_c\right)=0.$$

Коэффициенты $g_{ij}=\pi r_{ij}^4/(8\mu_{eff})$, также как и суммарный капиллярный скачок давления $\tilde{p}_c$, зависят от конфигурации распределения жидкостей.

Дискретная модель. С целью сохранения дискретных значений s по длине трубки искусственно распределим фазы, что целесообразно на рассматриваемом микроуровне. Насыщенность втекающего в капилляр потока представим вероятностью «окрашивания» элемента длины h.

На создание менисков затрачивается работа, соответственно возникают дополнительные силы. Добавим упругую силу, препятствующую втягиванию вытесняемой жидкости в узел, занятый первой жидкостью в виде

$$f=-k\frac{2\gamma}{r}\cdot\frac{\Delta x}{h},\quad \left|\Delta x\right|\le h.$$

Смачивающая фаза может самостоятельно, без внешнего градиента давления, вторгаться в капилляр. Для описания этого процесса введем в формулу капиллярного скачка аддитивную константу

$$p_c=\frac{2\gamma}{R}+\frac{2\gamma}{r}\left[1-\cos\frac{2\pi x_c}{l}\right]$$

Интегральным обобщением данной формулы с учетом дополнительных сил будет

$$\tilde{p}_c=\frac{2\gamma}{R}\left[s(0)-s(l)\right]+\frac{4\pi\gamma}{rl}\int_0^l\sin\frac{2\pi x}{l}\cdot s(x)dx+f \qquad (8)$$

Математическая модель (1)-(7) или (2)-(8) дополняется заданием начальных и граничных условий. Предложенный подход удобен тем, что допускает применение известных

численных методов. Решив систему для давлений, находим поле скоростей и элементарные перемещения.

2. Пример течения

Рассмотрим процесс вытеснения на двумерной сетке по дискретной модели (рис. 3). Пусть все капилляры, за исключением входного сечения, первоначально заполнены второй более вязкой жидкостью

$$s_{ij}(x,0)=0, \quad 0 \le x \le l .$$

Входной стороной сетка соприкасается с первой жидкостью

$$s_{ij}(x,0)\big|_{in}=1 .$$

На входном и выходном участках, указанных стрелками, заданы постоянные давления

$$p\big|_{in}=p_1, \quad p\big|_{out}=p_2 .$$

На противоположных сторонах – условие непротекания. Средняя скорость потока совпадает с указанным направлением.

В расчетах принимались следующие значения параметров:

$$l=1\text{мм},\ 0.05l \le r \le l \ \text{– случайная величина},$$

$$R=10r,\ h=0.1l,\ k=10$$

$$\gamma=0.03\,\text{Н/м},\ \mu_1=10^{-3}\,\text{кг/(с*м)},\ \mu_2=10\mu_1,\ p_1=100\,\text{Па},\ p_2=1\,\text{Па}.$$

На рис. 4 представлены два паттерна изолиний насыщенности s, соответствующие моментам времени $t=11$мс и $t=26$мс. Начальный этап втекания первой жидкости в приграничные капилляры обусловлен, в основном, внешним градиентом давления. В дальнейшем, главную роль играют капиллярные силы, и процесс вытеснения идет динамичнее. Интересно отметить, что выбор капилляра смачивающей жидкостью не столь очевиден. Идет конкуренция двух тенденций. С уменьшением толщины капилляра поверхностная плотность втягивающей силы растет, но скорость продвижения мениска падает.

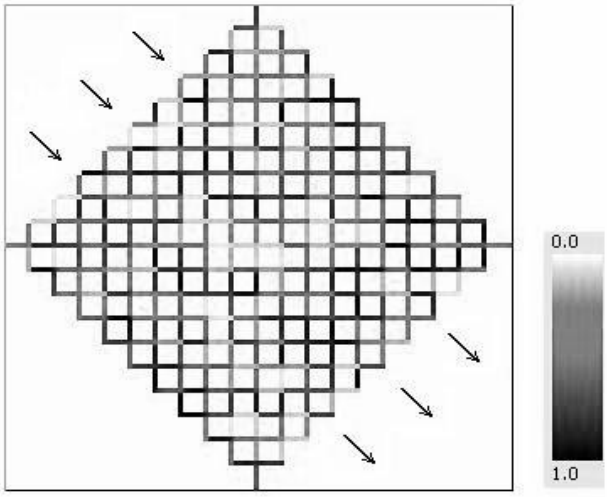


Рис. 3– Двумерная сетка. Длина капилляров $l=1$мм, тон соответствует случайному разбросу среднего радиуса $0.05l \le r \le l$

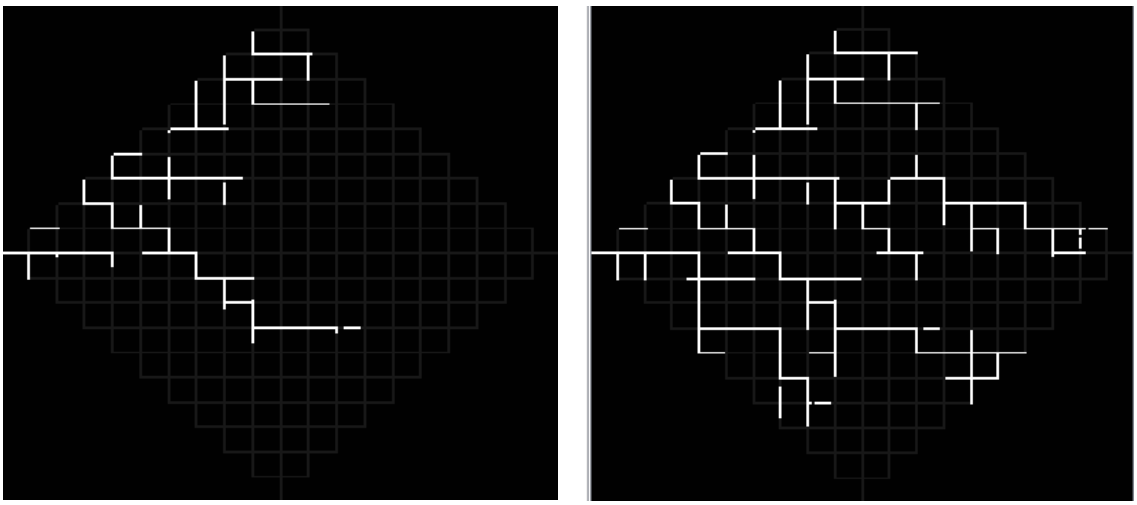


Рис. 4– Изолинии насыщенности в моменты $t = 11$мс и $t = 26$ мс

Заключение. Предложен подход описания движения жидкостей по системе капилляров, основанный на введении интегральной величины капиллярного скачка давления. Приведен пример вытеснения на двумерной сетке одной жидкости другой, менее вязкой. Выбор капилляров смачивающей фазой при продвижении фронта вытеснения идет, как правило, не в пользу меньшего радиуса и характеризует процесс далеким от равновесного.

Список обозначений

p − давление в узлах сетки,

p_c, $\tilde{p}_c$ − локальный и суммарный капиллярный скачок давления,

v − скорость,

q − объемный расход,

s − насыщенность капилляра,

γ − коэффициент поверхностного натяжения,

μ_{eff} − эффективная вязкость,

l, r − длина и радиус капилляра,

k, h – константы.

Список литературы

1. *Chen J.D., Wilkinson D.* Pore-scale viscous fingering in porous media // Phys. Rev. Lett. – 1985, Vol. 55. – P. 1892-1895.

2. *Dias M.M., Payatakes A.C.* Network models for two-phase flow in porous media // J. Fluid Mech. – 1986, Vol. 164. – P. 305-336.

3. *King P.R.* The fractal nature of viscous fingering in porous media // J. Phys. A – 1987, Vol. 20. – P. 529-534.

4. *Lenormand R., Touboul E., Zarcone C.* Numerical models and experiments on immiscible displacements in porous media // J. Fluid Mech. – 1988, Vol. 189. – P. 165-187.

5. *Aker E., Maloy K.J., Hansen A., Batrouni G.G.* A two-dimensional network simulator for two-phase flow in porous media // Transport in Porous Media. – 1998, Vol. 32. – P.163-185.

6. *Washburn E.W.* The dynamics of capillary flow // Phys. Rev. – 1921, Vol. 17 – P. 273-283.

7. *Batrouni G.G., Hansen A.* Fourier acceleration of iterative processes in disordered systems // J. Stat. Phys. – 1988, Vol. 52. – P. 747-773.

05.13.06

[1]А.Х. Хайруллин д.т.н., [2]Е.В. Зубков к.т.н., [3]Д.И. Мочалов

[1]Филиал Казанского (Приволжского) федерального университета –
факультет автоматизации и прогрессивных технологий,
кафедра автоматизация и информационные технологии, Набережные Челны

[2]Филиал Казанского (Приволжского) федерального университета –
факультет автоматизации и прогрессивных технологий,
кафедра прикладной информатики и управления, Набережные Челны, eugen_z@mail.ru

[3]Филиал казанского (приволжского) федерального университета –
факультет автоматизации и прогрессивных технологий,
кафедра автоматизация и информационные технологии, Набережные Челны

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ИСПЫТАНИЙ ДИЗЕЛЕЙ ПРИ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗКАХ НА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОМ ПРЕДПРИЯТИИ

В работе приводится имитационная модель режимов работы дизеля при неустановившихся нагрузках. Это позволит во время проведения автоматизированных испытаний получать характеристики дизеля в условиях его реальной эксплуатации. Рассматривается возможность компенсации нагрузок для более плавной работы дизеля.

Ключевые слова: *математическая модель, дизель, частота вращения вала, нагрузка на валу, имитационное моделирование.*

В настоящее время на отечественных машиностроительных предприятиях испытания дизелей, проводимые по международному стандарту 1585, выполняются в стационарных режимах [3]. Однако, в условиях эксплуатации наиболее распространён неустановившийся режим нагрузки. Испытания в статических режимах, которые получили наибольшее распространение, не совсем адекватно показывают работу двигателя при реальных нагрузках.

Разработка технологического процесса автоматизированных испытаний при исследовании двигателей в динамических режимах позволит получить характеристики рабочих процессов дизельных двигателей при неустановившихся нагрузках. Для этого стенд для исследований двигателей должен обеспечивать возможность воспроизводить неустановившийся характер нагрузки, а также типовые нагружения исследуемого двигателя [1].

С целью обеспечения возможности учета динамических свойств дизеля при разработке системы управления для настройки параметров автоматизированных систем испытаний применяется математическая модель двигателя, адекватность которой доказана для дизеля КАМАЗ 740.60 при стендовых испытаниях на заводе двигателей ОАО «КАМАЗ» экспериментально [2]:

$$\begin{cases} \dfrac{dh(t)}{dt} = T_h \cdot h(t) + K_{hm} \cdot M_C(t) + K_\omega \cdot \overline{\omega(t)} + 0 \cdot \overline{M_C(t)} \\ \dfrac{dM_C(t)}{dt} = 0 \cdot h(t) + T_m \cdot M_C(t) + 0 \cdot \overline{\omega(t)} + K_C \cdot \overline{M_C(t)} \end{cases}, \quad (1)$$

$$\omega(t) = K_h(t) + K_m \cdot M_C(t), \quad (2)$$

где $\overline{\omega(t)}$ и $\overline{M_C(t)}$ – входные параметры требуемой частоты вращения вала двигателя и нагрузки, соответственно; $h(t)$ и $M_C(t)$ – переменные, определяющие положение рейки ТНВД и нагрузку, соответственно; $\omega(t)$ – выходной сигнал, показывающий частоту вращения вала

двигателя; для двигателя КАМАЗ 740.60: T_h= -3.33; T_m=0.93; K_ω=0.008; K_h=120; K_m=0.68; K_c=-1.32; K_{hm}=-0.005.

Векторная передаточная функция, полученная из модели (1,2), была использована для имитационного моделирования режимов испытания с помощью Xcos – графического редактора для разработки гибридных моделей динамических систем, входящего в пакет прикладных математических программ SciLab.

Были сознаны модели работы дизеля в режимах пилообразного, ступенчатого изменений нагрузки. Пилообразная нагрузка возникает при работе машинного агрегата, как грейдер, например, при установке навесного ножа или отвала бокового на автомобиль КАМАЗ, а ступенчатая нагрузка возникает при работе машинного агрегата, как передвижная буровая установка.

Пилообразную нагрузку представим в виде ряда Фурье (3):

$$\overline{M_C(t)} = 150 + \sum_{k=1}^{\infty}\left(\frac{150(-1+\cos(2k\pi)+2k\pi\sin(2k\pi))}{k^2\pi^2}\cdot\frac{\cos(k\pi t)}{t_{i+1}} + \right.$$
$$\left. + \frac{150(-2k\pi\cos(2k\pi)+\sin(2k\pi))}{k^2\pi^2}\cdot\frac{\sin(k\pi t)}{t_{i+1}}\right), \qquad (3)$$

Подставив формулу (3) в формулу (1) получим реакцию системы на эту нагрузку, представленную на рисунке 1.

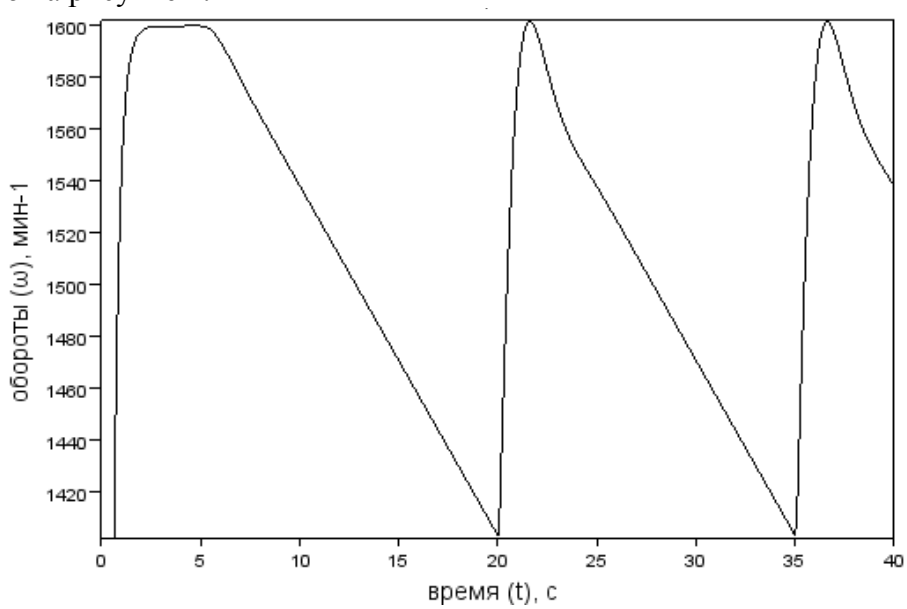


Рис. 1 – Зависимость частоты вращения вала двигателя в режиме пилообразного изменения нагрузки

Ступенчатую нагрузку, аналогично представленной (3), запишем в виде формулы (4):

$$\overline{M_C(t)} = \frac{446.5}{2} + \sum_{k=1}^{\infty}\left(\left(-\frac{0.13(-121.75\cdot\sin(1.58k)+121.75\sin(6.28k))}{k} - \right.\right.$$
$$-\frac{0.06(-243.51\cdot\sin(3.14k)+243.51\cdot\sin(6.28k))}{k} + \frac{95.87\cdot\sin(6.28)}{k} -$$
$$\left.\frac{51(-\sin(4.71k)+\sin(6.28k))}{k\pi}\right)\cdot\cos\frac{k\pi t}{l} + \left(-\frac{0.06(243.51\cdot\cos(3.14k)-243.51\cdot\cos(6.28k))}{k} - \right.$$
$$-\frac{0.13(121.75\cdot\cos(1.56k)-121.75\cdot\cos(6.28k))}{k} + \frac{0.54(177.54-177.54\cdot\cos(6.28k))}{k} -$$
$$\left.\left.-\frac{51(\cos(4.7k)-\cos(6.28k))}{k}\right)\cdot\sin\frac{k\pi t}{k}\right). \qquad (4)$$

Подставив формулу (4) в формулу (1) получим реакцию системы на эту нагрузку, представленную на рисунке 2.

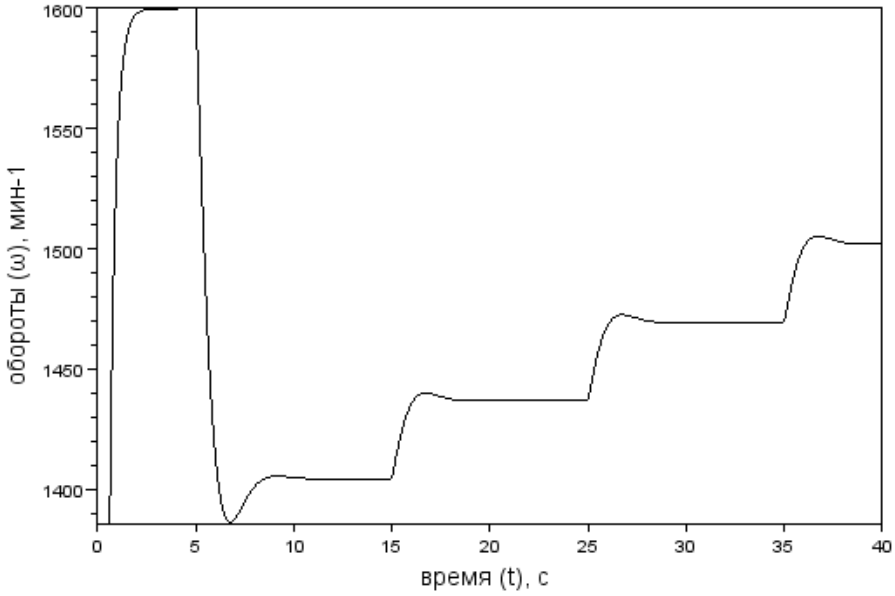


Рис. 2 – Зависимость частоты вращения вала двигателя в режиме ступенчатого изменения нагрузки

Полученные сигналы управляющих воздействий, имитирующих работу дизеля при пилообразном и ступенчатом изменении нагрузки, можно использовать для управления двигателем в процессе стендовых испытаний.

На основе, полученных моделей, можно создать компенсирующее воздействие, то есть модель управления рейкой топливного насоса, чтобы нивелировать колебание частоты вращения вала двигателя. Результаты применения этих компенсирующих воздействий можно видеть на рисунке 3 и рисунке 4.

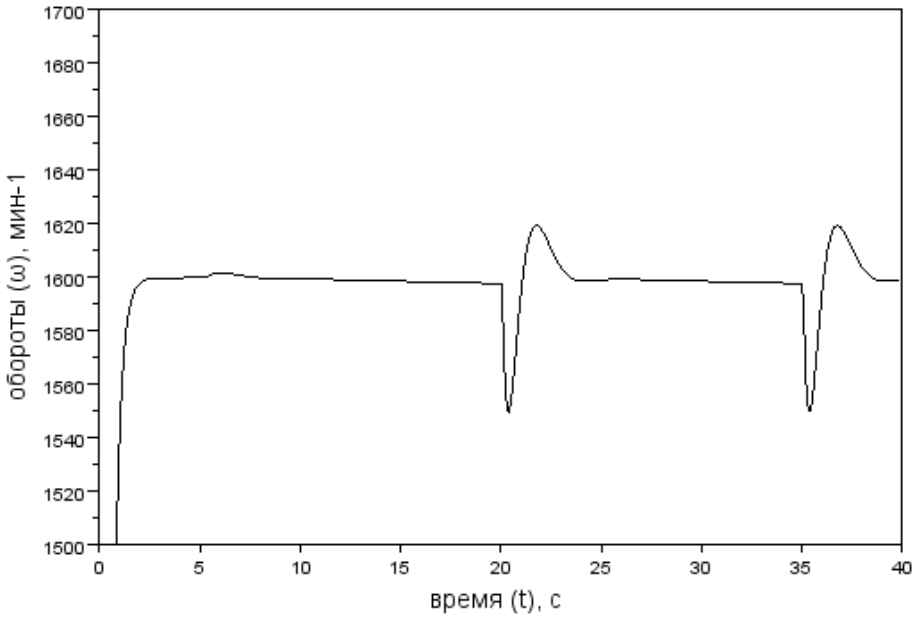


Рис. 3 – График изменения частоты вращения вала под воздействием пилообразной нагрузки и компенсирующего сигнала

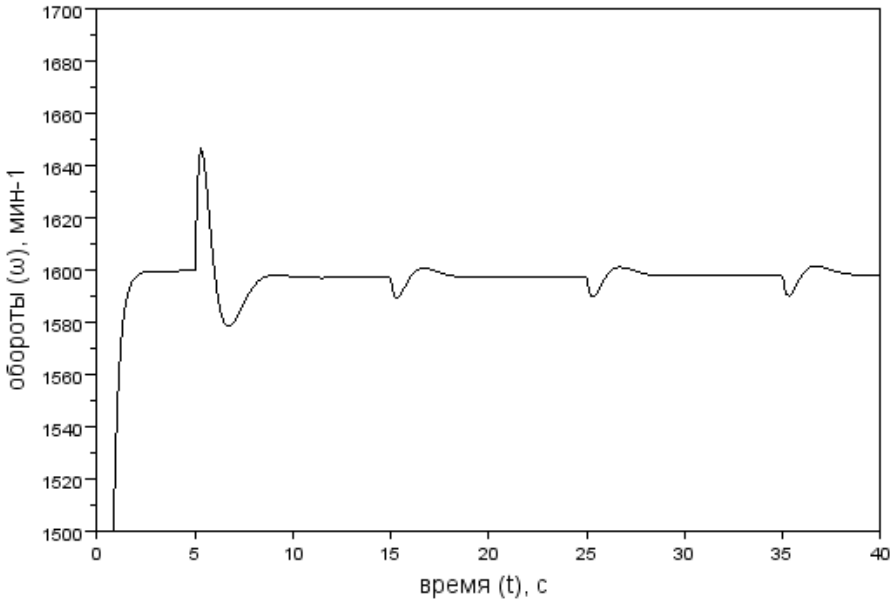


Рис. 4 – График изменения частоты вращения вала под воздействием ступенчатой нагрузки и компенсирующего сигнала

Список литературы

1. *Зубков Е.В., Дмитриев С.В., Хайруллин А.Х.* Алгоритмизация технологических процессов автоматизированных испытаний дизельных двигателей /Казань: Казан.ун-т, 2011. - 182 с.
2. *Галиуллин Л.А., Зубков Е.В., Мочалов Д.И.* Математическое моделирование режимов испытаний дизельных двигателей /Научно-технические ведомости СПбГПУ. - 2011 - № 5. – С. 77-81.
3. *Луканин И.Н., Шатров М.Г., Кричевская Т.Ю.* и др. Двигатели внутреннего сгорания. В 3 кн. Кн. 3. Компьютерный практикум. Моделирование процессов в ДВС.: Учебник для вузов /Под ред. *И.Н. Луканина и М.Г. Шатрова.* – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 2005. – 414 с.: ил.

05.04.03

Хо Вьет Хынг

Астраханский государственный технический университет,
Астрахань, hoviethung81@yahoo.com

ВЛИЯНИЕ МАСЛА НА ТЕПЛООТДАЧУ ПРИ КИПЕНИИ СМЕСЕВОГО ХЛАДАГЕНТА R410A НА РАЗВИТЫХ ПОВЕРХНОСТЯХ

В работе приведены результаты экспериментального исследования теплообмена при пузырьковом кипении хладагента R410A с разными концентрациями масла на стандартно-оребренной трубе и трубах с развитой поверхностью. Было исследовано влияние геометрических параметров теплообменной поверхности и концентрации масла на коэффициент теплоотдачи при кипении на разных поверхностях.

Ключевые слова: *теплоотдача, кипение, хладагент, масло, испаритель.*

В настоящее время производители низкотемпературной техники (климатической техники), такие как Dunham-Bush, McQuay-Daikin, YORK [1,2,3] выпускают модели чиллеров с кожухотрубными испарителями затопленного типа, в которых кипение холодильного агента происходит на поверхности труб. Это, как правило, аппараты большой производительности от 100 до 1500 кВт.

Основные преимущества затопленных испарителей — очень высокая энергетическая эффективность, особенно при неполной нагрузке, простая настройка, стабильность и безопасность работы компрессоров, без необходимости специального сервисного обслуживания.

В данных испарителях используются трубы с разными типами развитых теплообменных поверхностей. Анализ литературных данных позволяет отметить следующее: в настоящее время количество работ, посвященных вопросам исследования процесса кипения хладагента R410A на трубах с развитыми поверхностями теплообмена, весьма ограничено; вопрос о влиянии масла на коэффициент теплоотдачи при кипении в большем объеме не решен. Все вышесказанное обосновывает актуальность и важность исследования процесса теплообмена при кипении чистого хладагента R410A и смеси R410A с маслом на развитых теплообменных поверхностях.

Для изучения этого вопроса было проведено исследование на стенде по методике, описанной ранее [4].

В данном эксперименте изучался процесс пузырькового кипения на оребренной трубе и двух трубах с развитой поверхностью, где ребра образуют частично замкнутый объем. Использован хладагент R410A и синтетическое масло POE Bitzer BSE32 с концентрациями масла $\xi_м$ 0%, 2%, 5% и 10%. Эксперименты проводились при температурах насыщения -20°C, -5 °C и +5 °C, соответственно давление насыщения $p_н$ = 400 кПа, 677 кПа, 931 кПа, плотность теплового потока q изменялась от 1 до 20 кВт/м^2.

Эскизы ребер с частично замкнутым объемом представлены на рис 1.

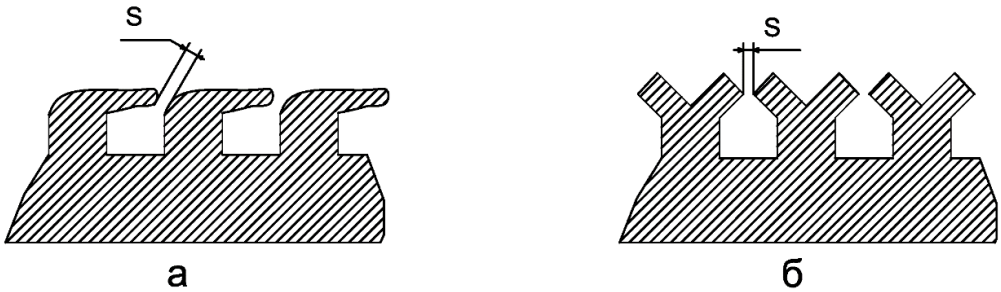


Рис.1. Эскизы ребер с частично замкнутым объемом экспериментальных труб:
а.- профиль Г, б.- профиль Y , s – зазор.

Трубы с частично замкнутым объемом запатентованы авторами. [5]

Трубы Г-профиля выполнены путем пропускания исходной трубы со спирально-накатными ребрами через протяжку, диаметр которой меньше диаметра исходной трубы.

Трубы Y-профиля выполнены путем прокатки режущим диском по середине верхней кромки ребра прямоугольного профиля.

На трубах имеются две диаметрально расположенные прорези по длине трубы на глубину равную высоте ребер, которые служат для доступа хладагента и выхода образовавшегося пара из частичного замкнутого объема.

В результате проведения экспериментов определяются: плотность теплового потока $q = N/F$ (Вт/м^2), где N – электрическая мощность, снятая с нагревателя, Вт; F – площадь теплообменной поверхности экспериментальной трубы, м^2;

коэффициент теплоотдачи $\alpha = q/(t_{ст} - t_н)$ (Вт/м^2.^{o}К), где $t_{ст}$ – средняя температура наружной поверхности стенки, $t_н$ – температура насыщения (пара) исследуемого вещества , ^{o}К;

α и q отнесены к внутренней поверхности труб.

Далее для экспериментальных коэффициентов теплоотдачи α методом наименьших квадратов находилась зависимость:

$\alpha = C.\ q^n\ .\ p_н^m$, где C – коэффициент, зависящий от свойств кипящей жидкости, свойств поверхности и др.

Эксперимент показал, что интенсивность кипения на трубе с частично замкнутым объемом почти в 1,2..1,5 раза больше, чем на стандартной оребренной трубе, так как на ней создаются лучшие условия для формирования, роста и отрыва паровых пузырей.

Опытные данные обобщаются зависимостями:

для оребренной трубы $\alpha = 10{,}05.\ q^{0{,}41}\ .\ p_н^{0{,}39}$, (1)

для трубы Г-профиля $\alpha = 74{,}27.\ q^{0{,}34}\ .\ p_н^{0{,}22}$, (2)

для трубы Y-профиля $\alpha = 80{,}46.\ q^{0{,}34}\ .\ p_н^{0{,}22}$. (3)

Для чистого R410A, трубы с развитой поверхностью обеспечивают повышенную производительность за счет более высокой плотности активных центров парообразования. На рис 2. представлены результаты обработки опытных данных по теплоотдаче при кипении чистого хладагента R410A по уравнениям (1,2,3). Максимальное отклонение опытных и расчетных значений α не более 15%.

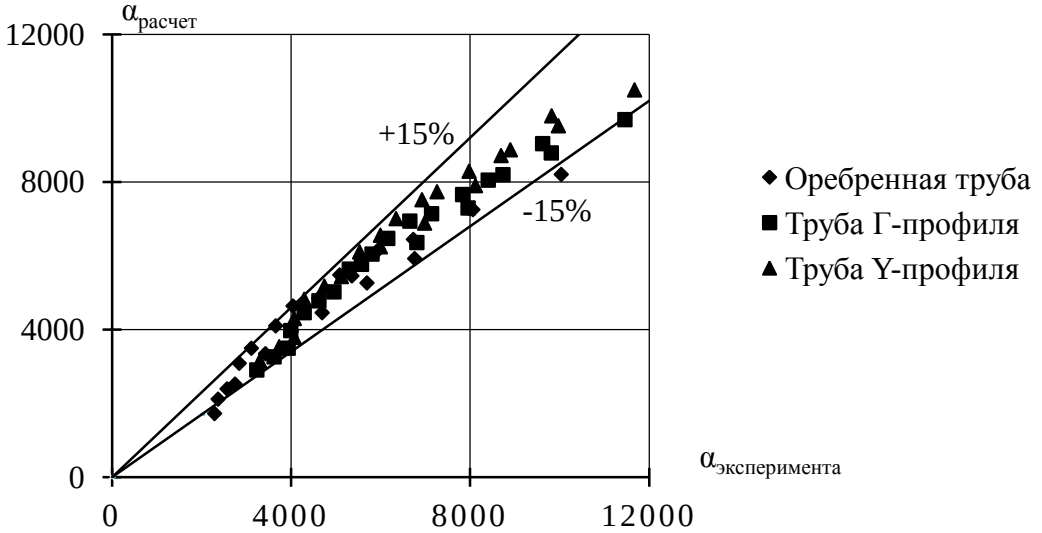


Рис 2. Сопоставление опытных и рассчитанных по уравнениям (1,2,3) значений α.

Влияние концентрации масла на коэффициент теплоотдачи при кипении хладагента R410A представлены на рис 3.

В результате проведения экспериментов установлено, что при добавлении масла $\xi_м$=2% , повышается коэффициент теплоотдачи в пределе до 10% для оребренной трубы, а при дальнейшем увеличении концентрации масла - падает. Увеличение коэффициента

теплоотдачи при низкой концентрации масла может быть связано с процессом пенообразования. Присутствие масла даже при $\xi_м \leq 2\%$ уменьшает коэффициент теплоотдачи для труб с развитыми поверхностями теплообмена.

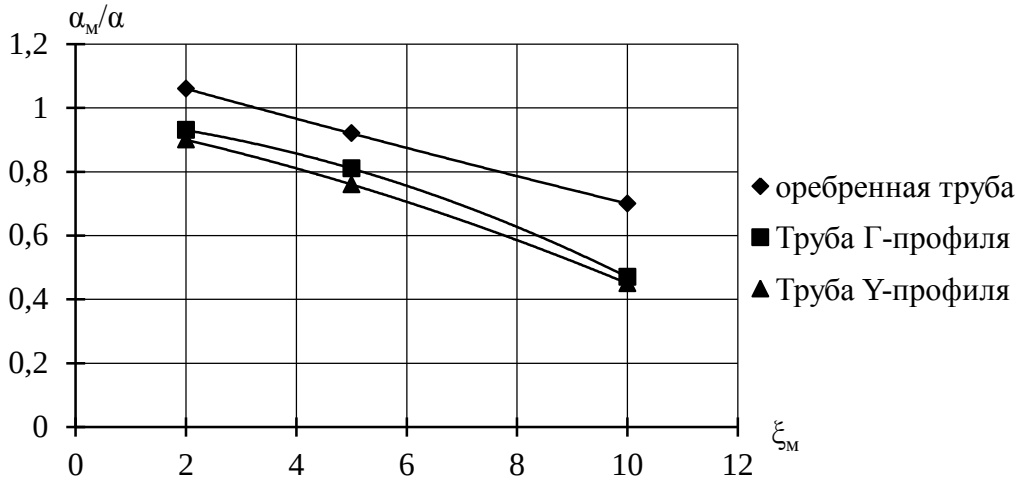


Рис. 3 График $\alpha_м/\alpha = f(\xi_м)$ при $t_н$ = -20 °С, q=10000 Вт/м^2.

Из рис. 3 видно, что концентрация масла $\xi_м$ свыше 5% приводит к монотонному снижению коэффициента теплоотдачи во всех случаях, так как высокая концентрация масла приводит к повышению силы поверхностного натяжения. Пузырьки растут медленнее, и интенсивность передачи тепла, которая зависит от скорости, с которой пузыри растут и отходят от нагретой поверхности, уменьшается.

Ухудшение характеристик на трубах с развитой поверхностью больше, чем на оребренных $\alpha_м/\alpha$ = 85..93% при $\xi_м$=5%. При концентрации $\xi_м$=10% резко ухудшается теплообмен во всех случаях, особенно на трубах с развитыми поверхностями теплообмена ($\alpha_м/\alpha$ = 40-70%). Причины этого могут быть связаны с накоплением большого количества масла внутри каналов частично замкнутого объема и трудностями, связанными с его удалением.

Результаты эксперимента показывают, что трубы с развитой поверхностью являются более чувствительными к деградации коэффициента теплоотдачи при кипении в отличие от оребренной трубы.

Выводы: По сравнению с оребренной трубой, коэффициент теплоотдачи при кипении на трубах с частично замкнутым объемом больше. Поэтому в кожухотрубных испарителях затопленного типа целесообразно заменять трубы со стандартным оребрением на трубы с частично замкнутым объемом, что позволит снизить их массу или увеличить холодопроизводительность при тех же габаритах.

Список литературы

1. *Dunham-Bush*. Chiller catalog 2012.
2. *McQuay-Daikin* - Каталог промышленного оборудования 2012 .
3. York air-conditioning products – Chillers & Air Handling Systems 2012
4. *Букин В.Г., Кузмин А.Ю., Васильев В.Н.* Экспериментальное исследование интенсификации теплоотдачи при кипении многокомпонентного хладагента R407C. // Известия Калининградского государственного технического университета. -2004. -№.6. -С. 177-185.
5. Патент РФ № 89680. Испаритель // Букин В.Г., Кузьмин А.Ю., Васильев В.Н., Бирюлин И.В. Опубл. 10.12.2009.

05.13.11

Хоанг Ван Кует

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Институт кибернетики, кафедра оптимизации системы управления,
Томск, student8050@sibmail.com

МЕТОД КОНТРОЛЯ ЛОГИЧЕСКИХ ВЫВОДОВ В СЕМАНТИЧЕСКИХ БАЗАХ ДАННЫХ

Рассмотрена основная проблема обеспечения безопасности работы с семантическими данными и также введены основные логические правила и понятия графов RDF-данных. Создан метод контроля возможности выполнения логических выводов при работе с семантическими данными.

Ключевые слова: *контроль доступа, логический вывод, язык описания ресурсов (RDF), несанкционированный доступ.*

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время одним из современных направлений развития информационных технологий является переход к работе с семантикой информации [1]. С помощью семантических технологий пользователь может использовать логические правила на основе полученных фактов [2] из базы данных для получения новой, не разрешенной им информации.

В настоящее время для обеспечения безопасности работы с реляционными данными предложены разные методы, не предоставляющие возможность управления выполнением нежелательных логических выводов на доступных данных пользователями [3].

Целью данной статьи является построение метода контроля логических выводов в работе с семантическими данными.

СОЗДАНИЕ МЕТОДА КОНТРОЛЯ ЛОГИЧЕСКИХ ВЫВОДОВ В СЕМАНТИЧЕСКИХ БАЗАХ ДАННЫХ

С семантическими данными пользователи US, имеющие уровень доступа L_{US}, могут использовать данные, имеющие низкий уровень безопасности, в логических операциях для получения данных, имеющих уровень безопасности больше, чем L_{US} [4], следовательно, пользователь нарушает безопасность информации в базе данных. Для того, чтобы построить метод контроля логических выводов в семантических данных, необходимо привести основные понятия видов графов-данных и логических правил.

Определение RDF-графа. Семантическая база данных представляет собой RDF-граф G, который состоит из множества вершин P (множество субъектов и объектов) и множества рёбер E (множество предикатов), обозначается $G = (P, E)$ [5], где: каждая вершина является субъектом или объектом, каждое ребро является предикатом (отношение межу субъектом и объектом), существуют некоторые ребра между двумя вершинами. На рис.1 показывается фрагмент RDF-граф семантической базы данных.

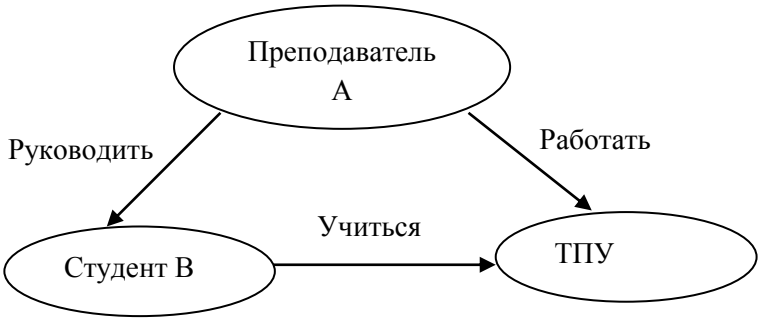


Рис. 1 – Фрагмент RDF-графа семантической базы данных

Определение видимого графа. Видимый граф для пользователя *US*, имеющего уровень доступа $L_{US,}$ является графом G_s, представляющим все триплеты, состоящие из троек: субъект, предикат, объект, к которым пользователь может иметь доступ, где $G_s \subseteq G$.

Определение логического графа. Логическим графом G^l_s является результат применения основных логических правил и добавления полученных результатов к графу G_s, где $G_s \subseteq G^l_s$.

Основные логические правила

Обозначим множество всех ресурсов (объект или субъект) как множество $P = \{A, B, C,\ldots,Z\}$, а множество всех бинарных отношений как $X = \{X_1, X_2, ..., X_n\}$, где $n \geq 1$. Для получения логических выводов пользователи используют следующие логические правила:

- симметричность: если $X_i \in X$ является симметричным бинарным отношением, то для любых объектов $A, B \in P$ выполняется выражение: $AX_iB \rightarrow BX_iA$;
- транзитивность: если $X_i \in X$ является транзитивным бинарным отношением, то для любых объектов $A, B, C \in P$ выполняется выражение: (AX_iB и BX_iC) $\rightarrow AX_iC$, где $A \neq B \neq C$;
- импликация: если бинарное отношение $X_i \in X$ заключает в себе отношение $X_j \in X$, то для любых объектов $A, B \in P$ выполняется выражение: $AX_iB \rightarrow AX_jB$;
- корреляция: если $X_i \in X$ является корреляционным бинарным отношением, то для любых объектов $A, B, C, D \in P$ выполняется выражение: (AX_iB, CX_iD) $\rightarrow AX_iC$, $A \neq C$, $B \neq C$, $A \neq D$, $B \neq D$;
- декомпозиция: если $X_i \in X$ является разложимым бинарным отношением, то для любых объектов $A, B \in P$ выполняется выражение: $AX_iB \rightarrow AX_iA$, BX_iB, где $A \neq B$;
- левая импликация: если $X_i \in X$ лево заключает в себе отношение $X_j \in X$, то любых объектов $A, B \in P$ выполняется выражение: $AX_iB \rightarrow AX_jA$, $A \neq B$;
- правая импликация: если $X_i \in X$ справа заключает в себе отношение X_j, то для любых объектов $A, B \in P$ выполняется выражение: $AX_iB \rightarrow BX_jB$, $A \neq B$.

Определение потока информации вершины графа. Потоком информации для вершины A является множество всех рёбер, непосредственно связанных с A. Данный поток обозначается как $C(A)$.

Правило возможности выполнения логической операции между двумя вершинами. Предположим, что в графе G^l_s вершины A и B имеют потоки информации $C(A)$ и $C(B)$, где $C(A)$, $C(B) \subseteq G^l_s$. Если $C(A) \cap C(B) = \emptyset$, то пользователь не может получить никакого логического вывода из этих вершин и их связей. Из вышесказанного можно составить алгоритм для определения возможности возникновения логических выводов из известных связей и вершин.

*Алгоритм 1 (алгоритм определения возможности получения логических выводов между двумя вершинами)***.** С использованием вышесказанного правила для определения возможности получения логических выводов между двумя вершинами разработан алгоритм, показанный на рис. 2.

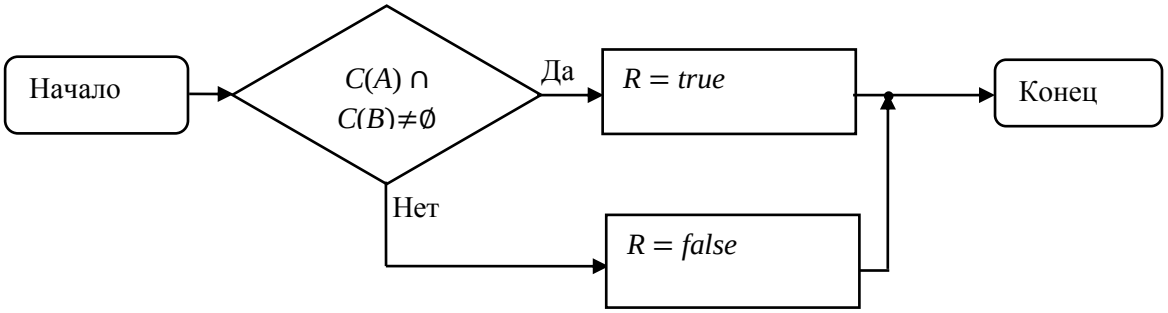


Рис. 2 – Алгоритм определения возможности получения логических выводов из двух вершин

В соответствии с данным алгоритмом, если между вершинами A и B обнаружены связи, то пользователь может применить логические правила ($R = true$) и получать логические выводы из данных вершин. В противном случае, пользователь не может получить логических выводов из вершин A и B. Входными данными алгоритма 1 являются множества всех вершин и рёбер графа. Выходными данными являются вершины, между которыми имеется возможность выполнять логический вывод.

Алгоритм 2 (определение возможности получения логических выводов между двумя вершинами A и B, имеющимися разные максимальные уровни безопасности). Предположим, что вершины A и B графа G имеют потоки информации $C(A)$ и $C(B)$, где $C(A)$, $C(B) \subseteq G$. Пусть $C(A)$ имеет максимальный уровень безопасности m, а максимальный уровень безопасности $C(B) – n$, где $n \geq m$, пользователь US имеет уровень доступа $L_{US} = cl$ и не имеет доступа к какой-то части данных. Часть потока информации вершины A, содержащая триплеты, уровни безопасности которых не больше, чем m, обозначается как $C_{0\to m}(A)$. Часть потока информации вершины B, содержащая триплеты, уровни безопасности которых не больше, чем n, обозначается как $C_{0\to n}(B)$. Переменная R для определения возможности связывать вершины A и B: если $R = true$, то можно связать вершины A и B; а если $R = false$, то связать вершины A и B нельзя.

В зависимости от значения cl, поиск общей связи информации между A и B выполняется таким образом:

- Если $cl \leq m$, то осуществляется поиск общих связей между потоками информации $C_{0\to cl}(A)$ и $C_{0\to cl}(B)$.
- Если $cl \leq n$ и $cl \geq m$, то осуществляется поиск общих связей между потоками информации $C_{0\to m}(A)$ и $C_{0\to cl}(B)$.
- Если $cl \geq n$, то осуществляется поиск общих связей между потоками информации $C_{0\to m}(A)$ и $C_{0\to n}(B)$.

Схема алгоритма, разработанного для определения возможности получения логических выводов между вершинами A и B, показана на рис. 3.

Входными данными данного алгоритма являются $C(A)$, $C(B)$, $C_{0\to m}(A)$, $C_{0\to n}(B)$, m, n, cl и значение $R = false$. Выходным данным является значение R. Если полученное значение $R = true$, то можно связать A и B, следовательно, из их может быть получен логический вывод. В противном случае, если $R = false$, то нельзя связать вершины A и B, следовательно, из их не может быть получен логический вывод.

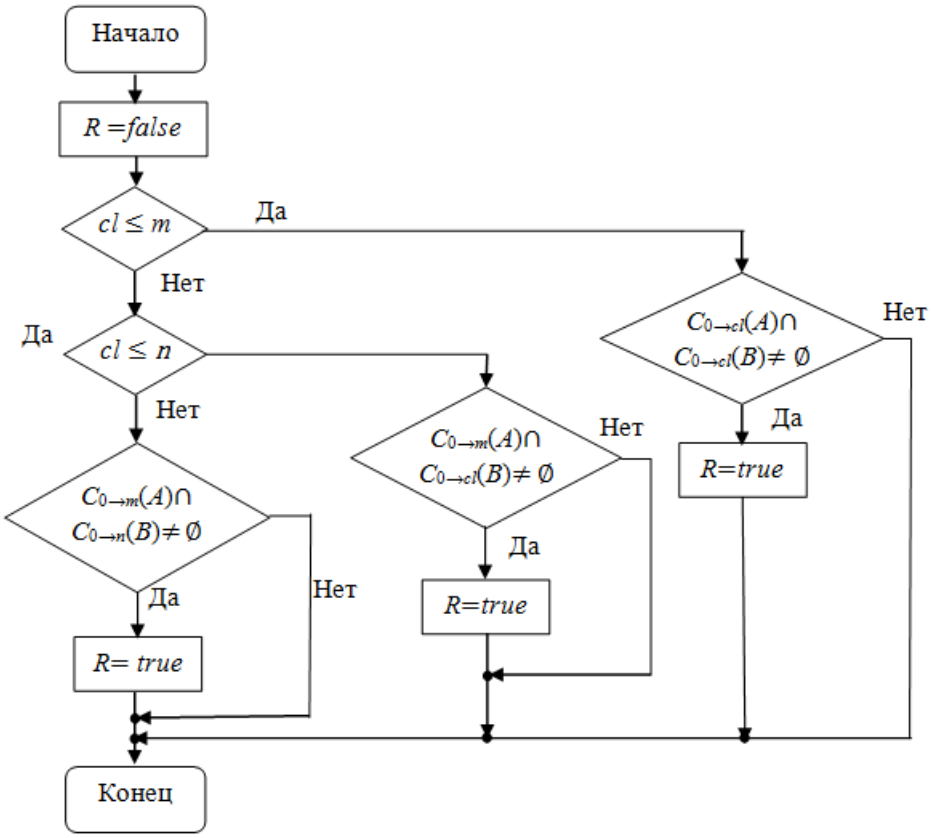


Рис. 3 – Алгоритм определения возможности получения логических выводов из двух вершин

Определение несанкционированного логического вывода. В семантической базе данных для любого пользователя *US*, имеющего уровень доступа L_{US}, его несанкционированным логическим выводом является триплет *e*, полученный при выполнении логических правил и имеющий уровень безопасности LS_e, значение которого больше, чем $L_{US.}$.

По данному определению, логический вывод *e* является нарушенным только в случае, когда он находится в невидимой части данных ($e \in G \backslash G_s$).

Пользователь может отправлять запросы к базе данных для получения новой информации (новых триплетов). В зависимости от L_{US} и уровней безопасности данных, при выполнении логических правил, полученные триплеты могут быть разделены на два типа: опасные (несанкционированные логические выводы) и безопасные. Для обеспечения безопасности работы с семантическими данными, необходимо разработать метод, использующийся для контроля возможности доступа пользователя к опасным данным. Для достижения данной цели используется предлагаемый алгоритм (алгоритм 3), включающий следующие шаги:

Шаг 1: определение видимого и невидимого графов

Видимый и невидимый графы могут быть определены при сравнении уровня доступа пользователя с уровнями безопасности вершин и связей графа *G*.

Видимый граф G_s включает в себя вершины и связи, уровень безопасности которых меньше, чем уровень доступа пользователя L_{US}.

Невидимый граф $G_h = \{e_i\colon e_i \in G \backslash G_s\}$ включает в себя вершины и связи, уровень безопасности которых больше, чем уровень доступа пользователя.

Шаг 2: определение безопасных и опасных связей в логическом графе

При выполнении логических правил на основе G_s получен логический граф G^l_s. Если логический вывод e_d графа G^l_s находится в G_h, то эти связи являются опасными, и они будут отмечены и добавлены во множество опасных связей $E_d = \{e_d\colon e_d \in G^l_s \backslash G_s\}$. Остальные связи графа G^l_s называются обычными связями.

Шаг 3: Используется алгоритм 2 для определения безопасных и подозреваемых вершин, связи графа G

По результату выполнения алгоритма 2, если существует одна или несколько связей (P_C) между двумя вершинами(V_A и V_B), то возможно получить логические выводы. В случае, когда логические выводы принадлежат графу G_s, то вершины V_A и V_B и все связи P_C между ними *являются безопасными*. В другом случае, если логические выводы принадлежат графу G_h, то данные вершины V_A и V_B и все связи P_C между ними *являются подозреваемыми;*

Шаг 4: управление возможностью получения логических выводов

В случае существования *подозреваемых связей*, необходимо увеличивать уровень безопасности LS_{VA} вершины V_A и LS_{VB} вершины V_B или LS_{PC} связи P_C для того, чтобы пользователь не мог их видеть и использовать в логических правилах для получения новой информации. В результате этого, пользователь не мог получить логические выводы, которые принадлежат графу G_h.

Схема алгоритма, используемого для контроля логических выводов, показана на рис. 4.

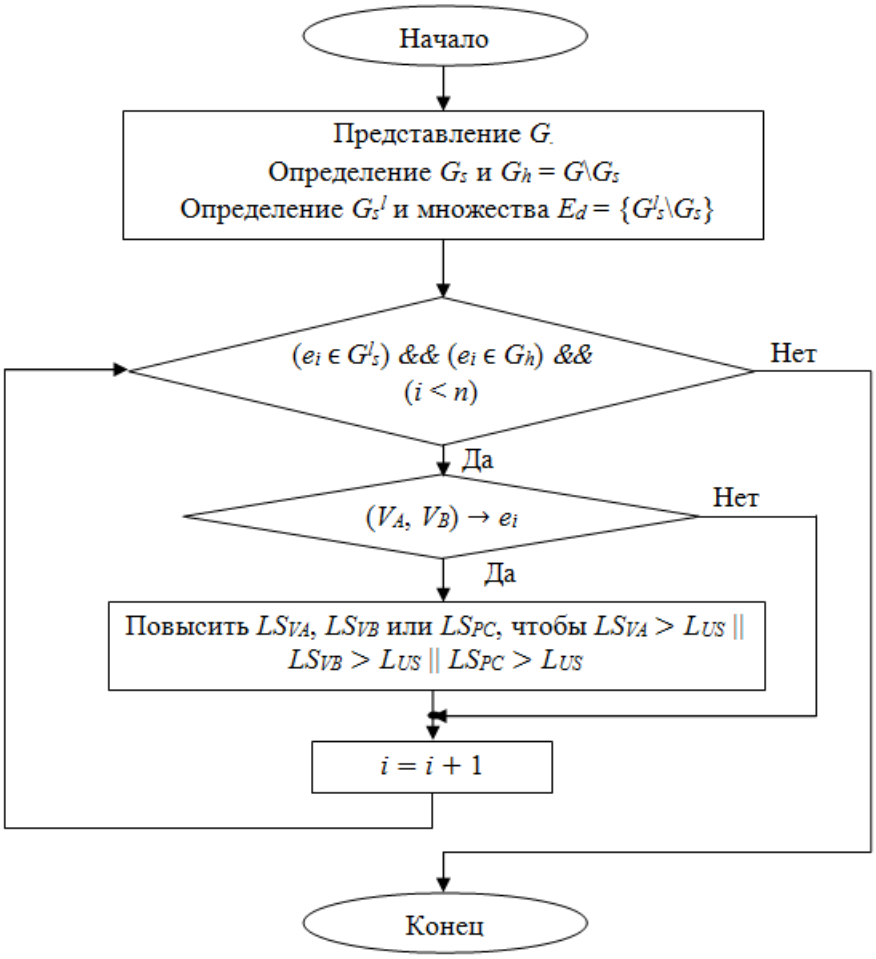


Рис. 4 – Алгоритм управления логическими выводами

С помощью данного алгоритма все безопасные и опасные связи могут быть определены. Пользователь получает только логические выводы, принадлежащие видимому графу, следовательно, безопасность семантических баз данных обеспечена.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье предложен метод контроля возможности выполнения логических выводов в семантических базах данных пользователями. Рассмотрены основные свойства отношений между объектами в семантических данных и понятия графа RDF-данных, видимого и невидимого, а также логического графов в семантических данных. Создан алгоритм для определения возможности получения логических выводов между двумя вершинами графа RDF-данных. На основе данного алгоритма разработан алгоритм, использующийся для управления логическими выводами в семантических данных. С помощью данного алгоритма безопасность работы с семантическими базами данных обеспечена.

Список литературы

1. Семантические технологии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.ultimeta.ru/technologies/semantic.html (дата обращения: 10.02.2012).
2. Семантическая вики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://ru.wikipedia.org/wiki/Семантическая_вики (дата обращения: 20.04.2012).
3. *Зегжда Д.П., Ивашко А. М.*. Основы безопасности информационных систем. - М.: Горячая Линия - Телеком, 2000. - 452 с.
4. Уровни безопасности сетевых систем [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://chhm.net/index.php?articles=50 (дата обращения: 25.06.2012).
5. Resource Description Framework [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://ru.wikipedia.org/wiki/RDF/ (дата обращения: 01.02.2012).

05.13.06

А.Н. Цуриков

Ростовский государственный университет путей сообщения,
кафедра «Информатика»,
Ростов-на-Дону, tsurik7@yandex.ru

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ АДРЕСНОГО ОПОВЕЩЕНИЯ О ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ ПРИ ПОМОЩИ SMS-СООБЩЕНИЙ

В статье описано устройство и способ, предназначенные для адресного оповещения о чрезвычайной ситуации при помощи SMS-сообщений. Разработка позволяет усовершенствовать технологию SMS-оповещения. Устройство и способ защищены заявкой РФ на выдачу патента на изобретение.

Ключевые слова: *SMS-сообщение, мобильный телефон, оповещение, чрезвычайная ситуация.*

Введение

Проблема организации эффективного оповещения о чрезвычайной ситуации (ЧС) имеет огромное значение. Это наглядно показало наводнение, унесшее 7.07.2012 г. жизни более 150 жителей города Крымск [1]. Остро выявилась необходимость в совершенствовании технологии оповещения о ЧС, применении современных средств телекоммуникации.

Указ Президента РФ от 13.11.2012 №1522 «О создании комплексной системы экстренного оповещения населения об угрозе возникновения или о возникновении чрезвычайных ситуаций» требует принятия мер по созданию такой системы на новом техническом уровне до 1.01.2014 г.

В статье описываются разработанные автором устройство и способ адресного оповещения о ЧС при помощи SMS-сообщений, защищенные заявкой на выдачу патента РФ №2012137743/08(061155).

Текущее состояние системы оповещения населения о ЧС

Оповещение о ЧС – это доведение до населения сигналов оповещения и соответствующей информации о ЧС. ЧС – это нарушение жизни и деятельности людей на объекте или территории (акватории), вызванное аварией, катастрофой, стихийным, экологическим бедствием, эпидемией, массовым заболеванием животных, растений, применением противником средств поражения и приведшие или могущие привести к потерям [2].

Организация оповещения в РФ осуществляется в соответствии с рядом федеральных законов («О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» от 21.12.94 №68-ФЗ; «О гражданской обороне» от 12.02.98 №28-ФЗ; «О связи» от 7.07.03 №126-ФЗ), постановлений Правительства («Об утверждении Положения о порядке использования действующих радиовещательных и телевизионных станций для оповещения и информирования населения Российской Федерации в чрезвычайных ситуациях мирного и военного времени» от 1.03.93 №177; «О создании локальных систем оповещения в районах размещения потенциально опасных объектов» от 1.03.93 №178; «О единой государственной системе предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций» от 30.12.2003 №794), Приказом МЧС России, Министерства информационных технологий и связи РФ и Министерства культуры и массовых коммуникаций РФ от 25.07.2006 №422/90/376 «Об утверждении Положения о системах оповещения населения». Согласно указанным актам оповещение осуществляется средствами массовой информации, системами централизованного и локального оповещения.

Основным способом оповещения населения о ЧС является подача условного сигнала

тревоги «Внимание всем!» с помощью развернутой сети электросирен с последующей передачей речевой информации по каналам теле-/радио- вещания и сети уличных громкоговорителей [3].

Однако данный способ испытывает ряд проблем. Сокращаются сети проводного вещания. С 1992 года в сельской местности количество радиоточек сократилось более чем на 30%. Разрушено и списано более 150 тыс. км линий радиофикации, ликвидировано более 2000 радиотрансляционных узлов [3]. Уличные громкоговорители развернуты лишь в центрах населенных пунктов, зачастую их работа не проверяется. Требуются значительные время и силы для их использования.

Эти проблемы продемонстрировала трагедия Крымска. В городе с населением 57 тыс. жителей функционировало 3 сирены предупреждения, а было необходимо 12 [1]. В результате, сигнал был подан тихо и лишь спустя 1.5 часа после начала бедствия. Эффективное и своевременное оповещение во время подобных ЧС способно спасти множество жизней.

Опыт применения SMS-сообщений при оповещении о ЧС

Сложившееся положение заставляет обратить внимание на современные средства коммуникации – мобильные телефоны. Телефоны (кроме самых дешевых) получили функциональность, ранее присущую только смартфонам, например, возможность установки программ.

Абоненты мобильной связи кроме основной услуги передачи голоса, широко используют SMS (Сервис Передачи Коротких Сообщений), который позволяет передавать и принимать алфавитно-цифровые сообщения. Сообщение может содержать до 160 символов (латинский алфавит), при использовании кириллицы – не более 70 символов.

Популярность SMS основана на нескольких важных факторах: SMS-сообщения дешевы; SMS удобен, если обстановка не располагает к разговору, а информацию нужно передать (например, в шумном помещении); труднозапоминаемую информацию (номера, адреса и т.д.) легче воспринимать в печатном виде; если абонент недоступен, SMS-сообщение будет передано ему сразу при появлении в сети.

Проведенный опрос [3] показал, что люди готовы получать SMS- оповещения при ЧС в 98% случаев. Опрос выявил избирательность в получении информации: все хотели бы получить информацию о местах эвакуации или местонахождения защитных сооружений в случае ЧС.

Известно, что SMS уже используется для оповещения о ЧС. В США разработана система PLAN (Personal Localized Alerting Network). Объем сообщений в PLAN не превышает 90 знаков [4]. Сообщения направляются абонентам, находящимся в зоне ЧС. Для этого в телефон внедряют чип, позволяющий в приоритетном порядке принимать такие оповещения. Подобные системы применяются и в других странах, например, Cell Broadcast в Дании и Firewatch в Австралии [5]. Оповещение населения с использованием SMS-сообщений также проводилось и в России в 2004-2006 годах в Южном и Сибирском федеральных округах [3].

Особенностью SMS является возможность обнаружения числа и местонахождения абонентов, находящихся в зоне ЧС, благодаря разделению территории мобильной связи на соты, которое гарантирует доставку информации тем, кто находится в зоне ЧС, соответствующей одной или нескольким сотам. Поэтому, применение SMS-сообщений можно обозначить, как форму адресного оповещения.

При SMS-оповещении в условиях ЧС [3] предложено условно разбивать население на целевые группы в соответствии с зональным принципом разворачивания ЧС и направлять представителям каждой сообщения разного содержания: получатели SMS в очаге поражения; получатели SMS в зоне возможного воздействия поражающих факторов; получатели SMS, находящиеся в безопасности.

Однако опыт использования оповещения населения SMS-сообщениями выявил и ряд недостатков, а именно:

- текст SMS не может содержать более 70 знаков (кириллица), что недостаточно для описания ЧС и порядка действий;
- ввиду ограниченности объема, смысл SMS может восприниматься по-разному, что ведет к ошибочным действиям при ЧС;
- необходимо получение информации в табличном, графическом (например, карта с расположением мест эвакуации) и/или других видах.
- у телефона может быть отключено звуковое информирование, что не позволит абоненту своевременно заметить и прочитать SMS-сообщение.

Описание предлагаемого устройства и способа

Для преодоления недостатков автором предложено следующее [6]. SMS-сообщение, направляемое абоненту, находящемуся в зоне ЧС, содержит только алфавитно-цифровой код ЧС, оповещение о которой необходимо произвести, при этом в коде зашифрована следующая информация: тип ЧС (пожар, наводнение и т.д.); местонахождение получателя SMS-сообщения (находится в очаге поражения, находится в зоне возможного воздействия поражающих факторов, находится в безопасности); номер графического файла с географической картой местности пребывания абонента, на которой обозначено расположение мест эвакуации; координаты места на карте, где располагается очаг поражения ЧС; последовательность слов и словосочетаний, которые следует воспроизвести, чтобы из них получилось звуковое и текстовое сообщение о порядке действий в ЧС; номер мелодии и вибросигнала, запускаемых при поступлении SMS.

В мобильный телефон устанавливают устройство (рис. 1) обеспечивающее: считывание кода из SMS; извлечение информации из хранимых в устройстве банков данных, в зависимости от полученного кода; формирование из извлеченной информации сообщения о ЧС; выдачу на встроенные средства телефона (экран, динамик) сообщения о ЧС.

Устройство содержит: блок отслеживания входящих SMS 1, блок считывания кода 2, блок хранения банков данных 3 (содержащий банк данных типов ЧС 4, банк данных возможных вариантов местонахождения получателя SMS 5, банк данных графических файлов с географическими картами местности 6, банк данных слов и словосочетаний 7, банк данных мелодий и вибросигналов 8), блок извлечения информации из банков данных и формирования сообщений 9, блок выдачи информации на встроенные средства телефона 10. Устройство использует элементы мобильного телефона, в который оно установлено: память SMS-сообщений 11, клавиатура 12, экран 13, динамик 14, вибросигнализатор 15.

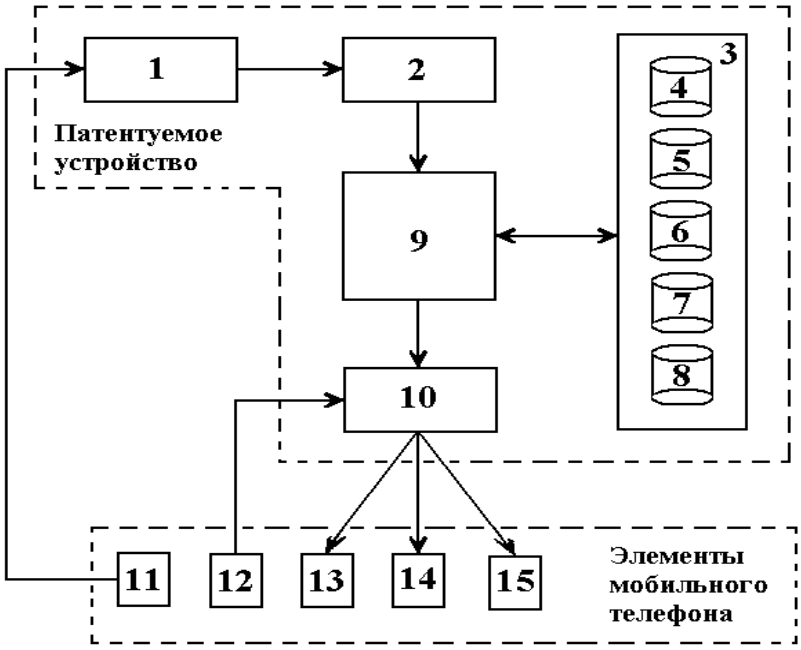


Рис. 1 – Схема устройства адресного оповещения о ЧС

Блок отслеживания входящих SMS 1 проверяет в фоновом режиме все приходящие в телефон SMS-сообщения. При появлении в памяти 11 сообщения с кодом ЧС, отправленного с определенного заблаговременно короткого четырехзначного номера, блок 1 активизирует устройство и передает SMS-сообщение в блок считывания кода 2.

Блок считывания кода 2 извлекает из SMS код и передает его в блок 9. Получив код, блок 9 взаимодействует с блоком хранения банков данных 3 по заданному алгоритму, и, в зависимости от полученного кода, извлекает из банков данных информацию и формирует из нее сообщение о ЧС.

В зависимости от полученного кода блок 9 извлекает из банков данных: из 4 – тип ЧС; из 5 – местонахождение получателя SMS; из 6 – графический файл с географической картой местности пребывания абонента, на которой обозначено расположение мест эвакуации; из 7 – последовательность слов и словосочетаний, которые следует воспроизвести, чтобы из них получилось звуковое и текстовое сообщение о порядке действий в ЧС; из 8 – мелодию и вибросигнал, которые необходимо запустить для привлечения внимания абонента.

Блок 9 формирует сообщение и передает его в блок выдачи информации на встроенные средства телефона 10. Получив сообщение, блок 10 воспроизводит выбранную мелодию и вибросигнал на динамике телефона 14 и вибросигнализаторе 15, а также изменяет цвет экрана 13. Мелодия воспроизводится максимально громко. После нажатия абонентом кнопки на клавиатуре 12 блок 10 прекращает воспроизведение мелодии, отключает вибросигнал и изменяет цвет экрана на обычный.

Далее блок 10 выводит на экран 13 графический файл с картой местности пребывания абонента, на которой обозначено расположение мест эвакуации и координаты очага поражения ЧС, текстовое сообщение, содержащее тип ЧС, местонахождение абонента в зоне ЧС, координаты очага поражения, сообщение о порядке действий. Одновременно блок 10 выводит на динамик 14 звуковое сообщение, идентичное текстовому.

Затем блок 10 выводит на экран 13 запрос, понял ли абонент сообщение. Если абонент нажимает на клавиатуре 12 «Да», то блок 10 отключается, устройство возвращается в фоновый режим. Если нажимает «Нет», то блок 10 повторяет сообщение, после чего вновь выводит запрос. После отключения блока 10, телефон переходит в обычный режим работы, блок 1 проверяет в фоновом режиме входящие SMS.

Последовательность действий предлагаемого способа: регистрируют у операторов связи одинаковый номер; устанавливают заблаговременно в мобильный телефон абонента описанное выше устройство адресного оповещения о ЧС; определяют тип ЧС при ее возникновении; устанавливают местонахождение абонента в зоне ЧС с точностью до соты базовой станции; определяют номер файла с актуальной географической картой, на которой обозначены места эвакуации; указывают координаты очага поражения ЧС; записывают сообщение о порядке действий в ЧС; определяют номер мелодии и вибросигнала, запускаемые при поступлении SMS; зашифровывают указанные сведения в коде ЧС, используя банки данных, идентичные содержащимся в телефоне абонента; направляют код ЧС на телефон абонента в SMS с зарегистрированного номера; активизируют в телефоне описанное устройство при получении SMS.

Реализация устройства

Код ЧС содержит 160 символов (ограничение на длину SMS) при использовании букв латинского алфавита и цифр. Прописные и строчные буквы считаются разными символами, пробелы не допускаются. Тогда, в каждой позиции кода может находиться один из 26 * 2 + 10 = 62 символов. Кодирование производится парами символов. Каждая пара может нести информацию об одном из $62^2 = 3844$ вариантов. Пар в коде 160/2 = 80.

Банки данных имеют вид таблицы. Фрагмент банка данных слов и словосочетаний показан в таблице ниже. Количество строк таблицы 3844.

Таблица – Фрагмент банка данных слов и словосочетаний

Код слова или словосочетания	Алфавитные символы слова или словосочетания	Звуковой файл, содержащий слово или словосочетание
A1	произошел выброс	C:/User/Vybros.mp3
. . .	. . .	. . .
F3	хлора	C:/User/Hlor.mp3
. . .	. . .	. . .

Фрагмент кода «A1F3» соответствует сообщению «произошел выброс хлора». Блок 9 устройства, получив из блока 2 код «A1F3», производит поиск в банке данных слов и словосочетаний 7 по первому столбцу, формирует по найденным данным алфавитное сообщение для вывода на экран «произошел выброс хлора» и звуковое сообщение для вывода на динамик «C:/User/Vybros.mp3 пауза C:/User/Hlor.mp3». После этого блок 9 передает эти сообщения в блок 10 для дальнейшего воспроизведения в соответствии с заложенным алгоритмом.

Объем и качество информации, хранимой в банках данных, определяется экспертами, обладающими достаточными знаниями и компетентными в рассматриваемой области. Устройство может быть реализовано аппаратно или программно. Оно может представлять собой отдельный блок, установленный в телефон, подключенный к его электронной схеме или являющийся ее частью, или оригинальную программу, загружаемую в память телефона. Устройство может быть установлено в момент производства телефона, либо позднее.

Автором ведется разработка программной реализации устройства для смартфонов под управлением операционных систем «Android».

Заключение

Реализация и внедрение предложенного устройства в рамках исполнения Указа Президента РФ №1522 позволит организовать эффективное адресное оповещение населения, руководящего состава органов власти, лиц принимающих решения на разных уровнях при угрозе или возникновении ЧС, используя преимущества SMS-оповещения: широкая аудитория (число абонентов равно населению); доставка независимо от места нахождения абонента; гарантированная доставка; возможность рассылки абонентам на конкретной территории; отработанный сервис; низкие расходы. При этом устройство позволит устранить такие известные недостатки SMS, как ограничение на длину. Создание программы для мобильных телефонов является доступным способом реализации предлагаемого изобретения.

Список литературы

1. *На весь Крымск всего три сирены оповещения о тревоге* [Электронный ресурс]. URL: http://izvestia.ru/news/529714 (дата обращения: 03.01.2013).

2. *Термины МЧС* [Электронный ресурс]. URL: http://www.mchs.gov.ru/dop/terms (дата обращения: 05.01.2013).

3. *Информационно-коммуникационные технологии обеспечения безопасности жизнедеятельности*: монография / под общ. ред. П.А. Попова, МЧС России. – М.: ФГУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2009. – 272 с.

4. *Российская газета*. Федеральный выпуск. №5475 (99).

5. *Безопасность* [Электронный ресурс]. URL: http://www.mgovservice.ru/industry/security.php (дата обращения: 05.01.2013).

6. *Цуриков А.Н.* Устройство адресного оповещения о чрезвычайной ситуации с использованием SMS-сообщений // Сб. материалов XV междунар. заоч. науч.-практ. конф. «Технические науки – от теории к практике», 12 ноя. 2012 г., Новосибирск. – С. 157-161.

05.17.01

Н.В. Шопперт, С.Ф. Катышев, Е.А. Никоненко, М.П. Колесникова

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина», Екатеринбург, natalia-urfu@yandex.ru

О ПОЛУЧЕНИИ ПИГМЕНТОВ ИЗ СПЕКАТЕЛЬНОГО ШЛАМА БОГОСЛОВСКОГО АЛЮМИНИЕВОГО ЗАВОДА

Проведен комплексный анализ спекательного шлама с целью его последующей переработки и получения пигментов. Для анализов химического и фазового состава спекательного шлама применялись эмиссионный спектральный, рентгенофазовый, а также ИК спектроскопический методы. Установлено, что цветонесущей фазой в пигментах является андрадит.

Ключевые слова*: производство глинозема, шламы, химический и фазовый состав, пигменты*.

При производстве глинозема в качестве побочного продукта образуется красный бокситовый шлам – мелкодисперсное вещество, отход производства глинозема. При переработке бокситов по способу Байера на каждую тонну глинозема получается более тонны красного шлама, а в способе спекания — до 2,5 т. Из-за отсутствия эффективных технологий переработки, основная масса красных шламов не используется, складируется в специальных шламохранилищах, которые оказывают отрицательное воздействие на окружающую среду. В России красных шламов накопилось более 100 млн. т. Так как спекательный шлам получается в большем количестве и может отличаться по составу от байеровских шламов, была поставлена задача изучения спекательного шлама Богословского алюминиевого завода.

Состав спекательного шлама определяли химическим, рентгенофазовым, ИК спектроскопическим методами анализа.

Химический анализ пробы осуществляли методом эмиссионного спектрального анализа с индуктивно-связанной плазмой на приборе «iCAP 6300Duo». Результаты анализа представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Состав пробы спекательного шлама (содержание в пересчете на оксиды, масс. %)

SiO_2	Al_2O_3	K_2O	B_2O_3	Li_2O	CaO	MgO	ZnO	Fe_2O_3
11,47	11,31	0,09	0,19	0,07	28,17	0,68	0,03	31,81
SO_3	**SrO**	**TiO_2**	**V_2O_5**	**Mn_2O_3**	**Na_2O**	**ZrO_2**	**P_2O_5**	**CuO**
1,45	0,31	3,30	0,08	0,38	3,57	0,08	0,87	0,03

Анализ показал значительное содержание алюминия **(Al_2O_3 – 11,316 %),** кальция **(CaO – 28,1711 %),** железа (**Fe_2O_3 – 31,816),** кремния **(SiO_2 – 11,479%).**

Для выяснения фазового состава был проведен рентгенофазовый анализ образца шлама на установке RIGAKU Dmax – 2200 в интервале углов 22° – 75° при угловой скорости сканирования 1 град/мин в CuK_α – излучении (40 кВ, 30 мА; λ = 1,54056 Å). Полученные результаты использовались для автоматизированного поиска по базе данных JCPDS (рис. 1). Предполагается присутствие гематита (Fe_2O_3), ларнита (силиката кальция – Ca_2SiO_4), гибшита $Ca_3Al_2(SiO_4)_{1,25}(OH)$, катоита ($Ca_{2,93}Al_{1,97}Si_{0,64}O_{2,56}(OH)_{9,44}$, совместного силиката натрия, кальция $Na_2Ca_3Si_2O_8$, трехкальциевого алюмината Ca_3Al_2 O_6. Гибшит и катоит относятся к группе алюмосодержащих гидрогранатов, в частности гибшит образует твёрдый

раствор с гроссуляром (grossular) $Ca_3Al_2(SiO_4)_3$ и катоитом (katoite) $Ca_3Al_2(SiO_4)_{3-x}(OH)_{4x}$, где x=1,5-3,0[1]. Гидрогранаты – групповое название минералов со структурой граната, но с заменой до 1/3 $[SiO_4]$ на $[OH]_4$ (рис. 2) [2].

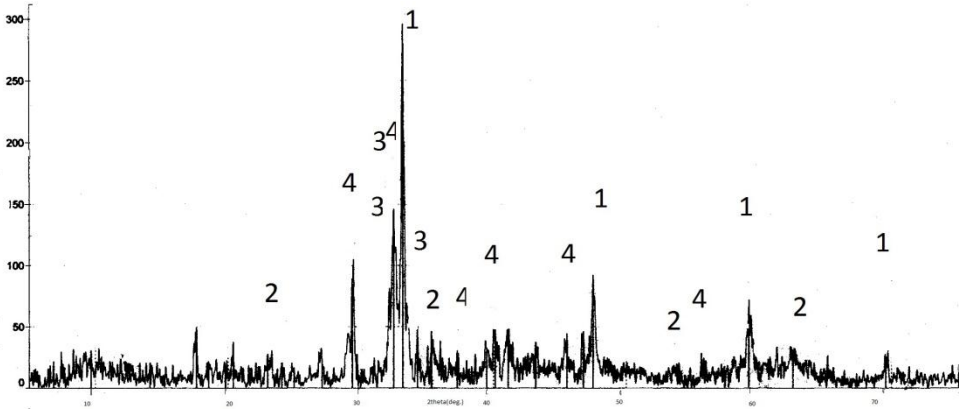


Рис. 1 – Рентгенограмма спекательного шлама, отнесение основных фаз:
1- $Ca_3Al_2O_6$; 2- Fe_2O_3; 3- Ca_2SiO_4; 4- $Ca_3Al_2(SiO_4)_{1,25}(OH)_7$.

Для уточнения фазового состава был привлечен ИК спектроскопический метод анализа. ИК спектр образца спекательного шлама был получен на приборе “Specord” в таблетках CsI (1 мг на 300 мг CsI) и представлен на рис. 3.

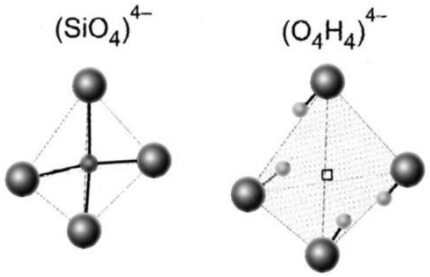


Рис. 2 – Замещение тетраэдра SiO_4 на тетраэдр O_4H_4

На ИК спектре обнаруживаются полосы поглощения молекул воды (3430 и 1611 $см^{-1}$) [1]. Полосы поглощения валентных колебаний гидроксид-иона в области 3700 $см^{-1}$ отсутствуют. Полосы поглощения при 994, 876 $см^{-1}$ подтверждают присутствие SiO_4^{4-}. Полосы, соответствующие деформационным колебаниям Si-O накладываются на полосы валентных колебаний.

Проведенные анализы позволяют сделать вывод об отсутствии в спекательном шламе гидрогранатов типа катоита, но позволяют предположить, что железо входит в состав другого соединения – железистого гидрограната, соответствующего формуле $3CaO{\cdot}Fe_2O_3{\cdot}nSiO_2{\cdot}(6-2n)H_2O$. Me-O в области 580 – 300 $см^{-1}$ [3].

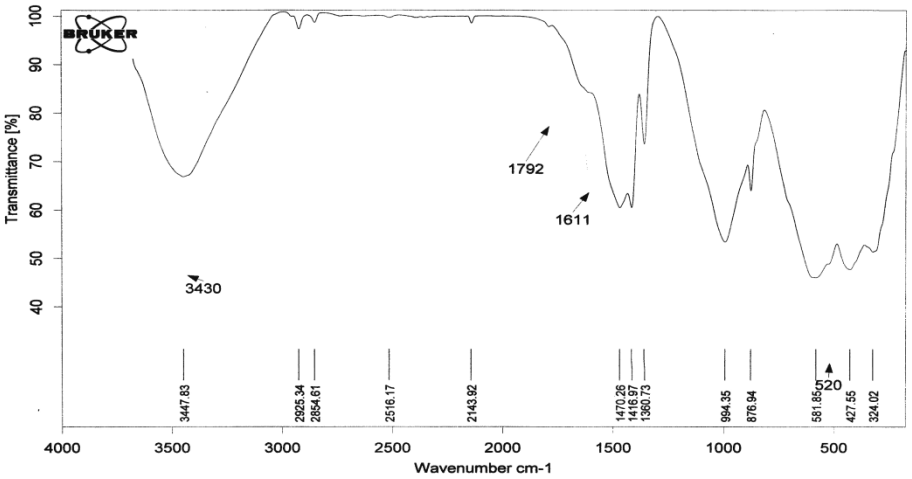


Рис. 3 – ИК спектр спекательного шлама

В природе подобные соединения не встречаются, но их образование было описано в работе [4] и изучено в многочисленных исследованиях под руководством Ни Л.П. В этих работах были изучены условия образования алюможелезистых и железистых гидрогранатов общей формулой $3CaO\cdot(Al,Fe)_2O_3\cdot nSiO_2\cdot(6-2n)H_2O$, так как эти соединения являются твердыми растворами изоморфных рядов:

$$3CaO\cdot Fe_2O_3\cdot 6H_2O - 3CaO\cdot Fe_2O_3\cdot 3SiO_2$$

$$3CaO\cdot Al_2O_3\cdot 6H_2O - 3CaO\cdot Al_2O_3\cdot 3SiO_2.$$

Особенностью структуры железистого гидрограната является вхождение части ионов Fe^{3+} вместо кремния на тетраэдрических позициях, поэтому на ИК-спектре появляется широкая полоса в области 500-700 $см^{-1}$, интенсивность которой возрастает с увеличением числа групп FeO_4. Другая особенность проявляется в том, что полоса валентных колебаний ОН-групп отсутствует в спектрах железистого граната.

Для уточнения состава спекательного шлама было проведено дополнительное исследование: образец спекательного шлама подвергли температурной обработке в течение 3 часов при 500 ^{0}С и провели рентгенофазовый анализ, результаты которого представлены в табл. 2.

Таблица 2 – Значения межплоскостных расстояний на рентгенограмме образца, подвергнутого термической обработке при 500 ^{0}С и их отнесение

d, A	I/I_1 ,%	Fe_2O_3 I/I_1 %	Ca_2SiO_4 I/I_1 %	Fe_3O_4 I/I_1 %	$3CaO\cdot Fe_2O_3\cdot 3SiO_2$ I/I_1 %
6,35	6				
4,92	6				
3,82	8		36		
3,08	5				
3,03	36				60
2,88	6		22		
2,78	19				
2,75	32		100		
2,69	100	100	100		100
2,52	6	50		100	
2,45	5		9		
2,28	8		35		
2,19	13		77		20
2,08	6				
2,03	7		75		
1,94	8				
1,93	7				
1,91	18		19		10
1,75	3		38		10
1,55	19				
1,34	7				20

После термической обработки в образце прослеживается появление андрадита, который мог образоваться в ходе протекания дегидратации железистого гидрограната, что подтверждает присутствие в спекательном шламе именно железистых гидрогранатов.

Поэтому на основе спекательного шлама проведен синтез керамических пигментов со структурой железосодержащего граната – андрадита.

Для синтеза керамических пигментов методом твердофазного синтеза была использована смесь диоксида кремния и спекательного красного шлама, с добавкой оксида хрома(+3) и оксида кальция в стехиометрическом соотношении, которая тщательно измельчалась и обжигалась в окислительной атмосфере в печи ПМ-1,0-7 с автоматической регулировкой температуры, продолжительность синтеза во всех опытах составляла 2 часа при температуре 1000-1100 ^{0}С. Полученные образцы были подвергнуты рентгенофазовому анализу и показали наличие в пигментах железистого граната – андрадита, который является основным

цветонесущим компонентом (рис. 4). Опыты показали, что при повышении температуры свыше 1000 ^{0}С цвет пигмента становится черного цвета, при этом спекания пигмента не происходит и образования расплава не наблюдается, что позволяет исключить операцию измельчения после спекания.

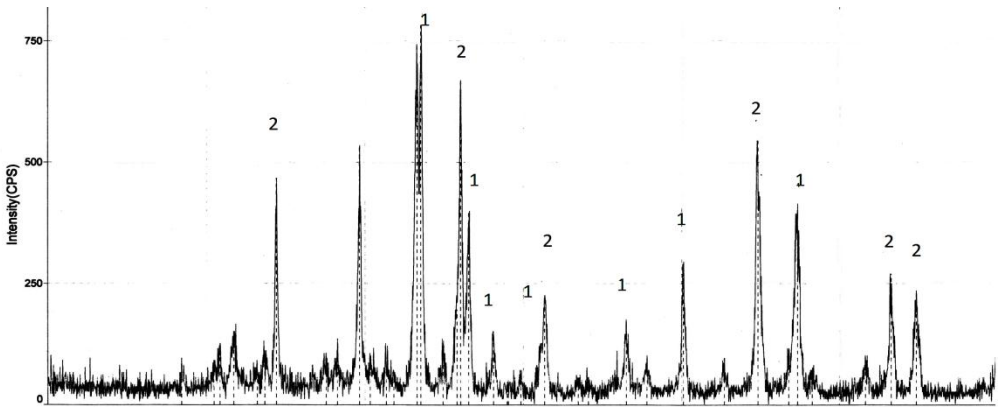


Рис. 4 – Рентгенограмма пигмента черного цвета:
1-$3CaO{\cdot}Fe_2O_3{\cdot}3SiO_2$, 2- Cr_2O_3

Полученные данные подтверждают возможность использования ресурсосберегающей технологии производства керамических пигментов на основе спекательного шлама Богословского алюминиевого завода со структурой железосодержащего граната (андрадита).

Список литературы

1. *Накамото, К.* ИК-спектры и спектры КР неорганических и координационных соединений / К. Накамото/ М. : Мир, 1991. – 152 с.
2. Геологический словарь: в 2-х томах. / Под редакцией К.Н. Паффенгольца и др. / М .: Недра, 1978. Т 1–2.
3. *Лазарев, А.Н.* Колебательные спектры и строение силикатов / А.Н. Лазарев / Л. : Наука, 1968. – 348 с.
4. *Ни, Л.П.* Окислы железа в производстве глинозема / Л.Н. Ни, М.М. Гольдман, Т.В. Соленко, Л.В. Бунчук, О.В. Халяпина / Алма-Ата, Изд-во «Наука» Казахской ССР, 1971. – 128 с.

АННОТАЦИИ
ABSTRACTS

В.К. Половняк, Л.Н. Хафизова, О.В. Нестеров, С.С. Ксембаев

ПРИРОДА АДГЕЗИИ БИОСОВМЕСТИМОГО СОРБЕНТА «ЦЕЛОФОРМ» К РАНЕВЫМ ПОВЕРХНОСТЯМ

Ключевые слова: Целоформ, адгезия, механизм адгезии.

Рассмотрен механизм адгезии нового биосорбента целоформа по отношению к раневым поверхностям. Дана количественная оценка величины адгезии.

V.K. Polovnyak, L.N. Khafizova, O.V. Nesterov, S.S. Ksembaev

THE NATURE OF ADHESION BIOCOMPATIBILITY SORBENT "CELOFORM" TO THE WOUND SURFACE

Keywords: celoform, adhesion, adhesion mechanism.

The mechanism of adhesion of the new biosorbent Celoform to the wound surface, a quantitative evaluation of adhesion.

Динь Тьен Зунг

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ СХЕМЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ГТУ НА БАЗЕ АВИАЦИОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Ключевые слова: газотурбинная энергетическая установка (ГТУ), впрыск воды в компрессор, регенерация, электрический КПД.

Рассматриваются различные схемы газотурбинных энергетических установок, создаваемых на базе авиационных двигателей, которые позволяют получить существенное повышение энергетической эффективности энергоустановки. Показано, что применение одновременно впрыска воды в проточную часть компрессора с «влажной» регенерацией тепла выхлопных газов является одной из наиболее перспективных схем ГТУ, позволяющей получить значительное повышение электрического КПД при одновременном улучшении экологических характеристик установки.

Dinh Tien Dzung

PROMISING SCHEMES ENERGY GAS TURBINE POWER PLANTS, BASED ON AIRCRAFT ENGINE

Keywords*: gas turbine power plant, water injection into the compressor, regeneration, electrical efficiency.*

Various schemes gas turbine power plants, created on the basis of aircraft engines, which provide significant improvements in energy efficiency of power plant are presented. It is shown that the use of both water injection into the flow path of compressor with the "wet" exhaust heat recovery is one of the most promising schemes, results in a significant increase in electrical efficiency while improving environmental performance of the power plant.

В.В. Дружинин

МЕТОД КВАДРАТИЧНОГО ТОЖДЕСТВА ПРИ РЕШЕНИИ ДИОФАНТОВЫХ УРАВНЕНИЙ

Ключевые слова: диофантово уравнение, пифагоровы числа, великая терема Ферма.

Предложен новый метод решения диофантовых уравнений, приведены новые результаты, отмеченные символом (Н), найдены бесконечные цепочки пифагоровых чисел, коротким расчетом доказан частный случай великой теоремы Ферма и даны ее обобщения.

V.V. Druzhinin

THE METHOD OF QUADRATIC IDENTITY WHEN SOLVING DIOPHANTINE EQUATIONS

Key words: *Diophantine equation, Pythagorean numbers, Fermat's last theorem.*

The new method of solving Diophantine equations is being suggested. The new results, marked by the symbol (H) are shown. Endless chains of Pythagorean numbers are found. A particular case of Fermat's last theorem is proved by a short calculation and its generalization is given.

С.А. Костарева, А.А. Мусеев

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СТЕРЖНЯ НА ОСНОВЕ РЕШЕНИЯ ОБРАТНЫХ ЗАДАЧ

Ключевые слова: стержень, обратная задача, идентификация, линеаризация, уравнение Фредгольма 1-го рода, регуляризация Тихонова.

В статье рассмотрена задача идентификации геометрических характеристик консольно-закрепленного стержня на основе решения обратных задач. Обратная задача восстановления площади поперечного сечения стержня решена методом регуляризации Тихонова. В качестве дополнительной информации о решении выступает амплитудно-частотная характеристика стержня, измеренная в некоторых точках исследуемого объекта.

S.A. Kostareva, A.A. Museev

THE BEAM GEOMETRICAL PARAMETERS IDENTIFICATION BASED ON THE INVERSE PROBLEMS SOLVING

Keywords: beam, inverse problem, identification, linearization, Fredholm equation of the first kind, Tikhonov regularization.

In this article the problem of consol fixed beam geometrical parameters identification based on the inverse problems solving is considered. The inverse problem of beam cross-section area restoration is solved by the method of Tikhonov regularization. The beam amplitude-frequency characteristic measured in some places of studied object is ancillary information on solution.

Д.Г. Лазаренко, Г.Э. Лазаренко, П.И. Прудников, И.И. Андрюшин

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ТЕРМОЭМИССИОННОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ НА ОСНОВЕ КАПЕЛЬНО-ПЛАЗМЕННОЙ РАБОЧЕЙ СРЕДЫ

Ключевые слова: прямое преобразование энергии, термоэмиссия, капельно-плазменная среда, математическое моделирование.

Разработана теория генерации заряженных капель цезия в низкотемпературной цезиевой плазме с целью получения оптимальных параметров и состава рабочей среды термоэмиссионного преобразователя. Выполнено математическое моделирование динамических процессов в цезиевой капельно-плазменной среде. Разработана теория метода сепарации потока плазменной среды для создания высокоэффективного термоэмиссионного преобразователя.

D.G. Lazarenko, G.E. Lazarenko, P.I. Prudnikov, I.I. Andrushin

DEVELOPMENT OF THE THERMIONIC ENERGY CONVERSION TECHNOLOGY BASED ON THE PLASMA-DROP MEDIUM

Key words: direct energy conversion method, thermal emission, plasma-drop medium, mathematical modeling.

The theory of charged cesium drops generation in the low density cesium plasma has been developed in order to obtain the optimum parameters operating environment and thermionic converter. Mathematical modeling of dynamic processes in a cesium plasma-drop medium has been simulated. Has been developed the separation method theory of the plasma flow medium to create a high-performance thermionic converter.

В.М. Леонов

АНАЛИЗ ФОРМОИЗМЕНЕНИЯ МАТЕРИАЛА С НЕЛИНЕЙНЫМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ХАРАКТЕРИСТИК

Ключевые слова: обработка материалов, повышение характеристик материала, цилиндрические оболочки, оболочки без осевой симметрии, структурные изменения.

В работе представлен анализ аспектов моделирования обработки материалов на примере цилиндрических заготовок, без осевой симметрии, а также взаимосвязанные особенности изменения характеристик материала в пространстве и времени.

V.M. Leonov

ANALISYS OF MATERIAL SHAPING WITH NON-LINEAR DISTRIBUTION OF FEATURES

Keywords: materials treatment, strengthen material characteristics, round specimens, round specimens without axis symmetry, structural changes.

This paper presents analisys of modeling aspects of materials treatment based on example of round specimens without axis symmetry. There are also described related particularities of material characteristics variations in space and time.

А.Г. Поздеев, Ю.А. Кузнецова

МОДЕЛЬ ЖИДКОСТИ С ИСЧЕЗАЮЩЕЙ ВЯЗКОСТЬЮ

Ключевые слова: двумерные течения, уравнения Навье-Стокса, переменная (исчезающая) вязкость, перенос завихренности.

Предложена гипотеза переменной вязкости, экспоненциально убывающей по направлению нормали к двумерно обтекаемой плоской поверхности. Установлена совместимость такого предположения с теорией турбулентных потоков со сдвигом. Выведено уравнение переноса завихренности для двумерных течений ньютоновых жидкостей. Получены соотношения, применимые к решению прикладных задач механики жидкости.

A.G. Pozdeev, J.A. Kuznetsova

MODEL OF FLUID WITH VANISHING VISCOSITY

Keywords: two-dimensional flows, Navier-Stokes equations, transient (vanishing) viscosity, vorticity transport.

The author of the article offers a hypothesis of the transient viscosity decreasing exponentially in the direction of the normal to the two-dimensionally streamlined flat surface. Compatibility of this assumption with the theory of turbulent shear flows is ascertained. The vorticity transport equation is derived for two-dimensional flows of Newtonian fluids. There are obtained the relations applicable to the solution of applied problems in fluid mechanics.

А.Г. Поздеев, Ю.А. Кузнецова

МЕХАНИЗМ ДВУМЕРНОГО ОТРЫВА ПОТОКА

Ключевые слова: профиль, цилиндр, вихрь, отрыв потока.

На основе модели катящихся вихрей доказана тождественность силы Кориолиса, действующей на вихревой слой, присоединенный к обтекаемому профилю, и силы Жуковского, возникающей при обтекании профиля. Предложена модель отрыва потока от обтекаемых двумерных поверхностей.

A.G. Pozdeev, J.A. Kuznetsova

MECHANISM OF TWO-DIMENSIONAL FLOW SEPARATION

Keywords: profile, cylinder, vortex, flow separation.

Based on the model of rolling vortices there is proved the identity of Coriolis force, acting on the vortex sheet attached to the streamlined profile, and Zhukovsky force, arising by the profile flow. The author also offers the model of flow separation from streamlined two-dimensional surfaces.

В.В. Трегулов, В.А. Степанов, Г.Н. Скопцова

РАССЕЯНИЕ СВЕТА В АНТИОТРАЖАЮЩЕМ ПОКРЫТИИ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ НА ОСНОВЕ КРЕМНИЯ

Ключевые слова: антиотражающее покрытие, пористый кремний, рассеяние света, спектры отражения, фотоэлектрический преобразователь.

Приведены результаты исследования спектров отражения и рефлектограмм рассеянного света фронтальных поверхностей кремниевых фотоэлектрических преобразователей солнечной энергии. Отмечено, что наиболее предпочтительно использовать в качестве антиотражающего покрытия пленки пористого кремния.

V.V. Tregulov, V.A. Stepanov, G.N. Scoptsova

LIGHT SCATTERING IN ANTIREFLECTION COATINGS PHOTOELECTRIC SOLAR ENERGY CONVERTERS BASED ON SILICON

Key words: antireflection coating, porous silicon, light scattering, reflection spectra, a photoelectric converter.

The results of investigation of the reflection spectra and waveforms of the scattered light frontal surfaces of silicon photoelectric converters solar energy is presented. Is noted, that most preferable is use as an anti-reflecting coatings of a film of porous silicon.

А.П. Баюнов, С.Н. Смарыгин

ВЛИЯНИЕ ВЛАЖНОСТИ НА РЕЗУЛЬТАТЫ БИК-АНАЛИЗА КОМБИКОРМОВ И СПОСОБЫ ЕЕ УЧЕТА

Ключевые слова: БИК-спектры, комбикорма, влажность, БИК-спектры, метрология.

На погрешность анализа комбикормов методом спектроскопии в ближней инфракрасной области (БИК-спектроскопии) и на устойчивость градуировочных моделей существенное влияние оказывает влажность образцов. Предложен способ количественного учета влияния влажности при определении содержания массовой доли аминокислоты в смесях, моделирующих комбикорм, основанный на внесении спектральной поправки. Этот способ позволил снизить систематическую погрешность БИК-анализа. Также предложен графический способ сравнения ИК-спектров.

A.P. Bayunov, S.N. Smaryguin

HUMIDITY AND ITS AFFECTION ON THE ERROR OF MIXED FODDER NIR-ANALYSIS

Keywords: *NIR-spectra, mixed fodders, moisture, metrology.*

Error of mixed fodder near infrared analysis and calibration stability are highly affected by sample moisture. An approach for moisture influence reduction based on spectral correction has been offered. It has been tested on the calibration for amino acid determination in simple model mixtures of mixed fodders. Using such a method has improved NIR-analysis accuracy. Also a method for spectra comparison has been offered.

А.Р. Гатауллин, С.А. Богданова, Л.Я. Захарова, Ю.Г. Галяметдинов

ДЕЗАГРЕГАЦИЯ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК В РАСТВОРАХ НЕИОННЫХ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ

Ключевые слова: углеродные нанотрубки, поверхностно-активные вещества, диспергирование, дезагрегация, стабилизация, ультразвуковая обработка, центрифугирование.

Исследовано влияние неионных поверхностно-активных веществ (ПАВ) на процесс ультразвукового диспергирования и стабилизацию суспензий одностенных углеродных нанотрубок (УНТ) в воде. Показано, что размер частиц и устойчивость суспензий зависят от природы и концентрации ПАВ.

A.R. Gataoulline, S.A. Bogdanova, L.Ya. Zakharova, Yu.G. Galyametdinov

CARBON NANOTUBES DISAGREGATION IN NONIONIC SURFACTANT SOLUTIONS

Key words: carbon nanotubes, surfactants, dispersion, stabilization, disaggregation, stabilization, ultrasonic treatment, centrifugation.

In this article we research the surfactant influence to disperse and stabilize carbon nanotubes in liquid media. It has been shown, that dispersion and suspension stability depends on nature and surfactant concentration.

И.Г. Рыльцова, Р.Н. Саенко, О.Е. Лебедева

ПРОЦЕСС КРИСТАЛЛИЗАЦИИ КОБАЛЬТСОДЕРЖАЩИХ СЛОИСТЫХ ДВОЙНЫХ ГИДРОКСИДОВ

Ключевые слова: гидротальким, кобальт, слоистые двойные гидроксиды, соосаждение, РФА.

Кобальтсодержащие слоистые двойные гидроксиды со структурой гидротальким синтезированы

I.G. Ryltsova, R.N. Saenko, O.E. Lebedeva

CRYSTALLIZATION PROCESS OF COBALT-CONTAINING LAYERED DOUBLE HYDROXIDES

Keywords: hydrotalcite, cobalt, layered double hydroxides, co-precipitation, XRD.

Cobalt-containing layered double hydroxides with the structure of hydrotalcite were synthesized by co-precipitation of corresponding metal salt solutions at

методом соосаждения из растворов солей соответствующих металлов при переменном pH. Показано, что уже при комнатной температуре происходит формирование слоистой структуры, однако термостатирование осадков под маточным раствором при температуре 98˚С в течение 48 часов приводит к увеличению степени кристалличности и упорядоченности бруситоподобных слоев.

variable pH. The formation of the layered structure was shown to be observed at ambient temperature however ageing of the precipitates under solution at 98˚ C during 48 hours led to an increase of the degree of crystallinity and ordering of brucite-like layers.

А.А. Хасанов, В.А. Ефимов

К МЕТОДОЛОГИИ РАСЧЕТА МОЛЕКУЛЯРНО-МАССОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛИМЕРОВ

Ключевые слова: Молекулярно-массовое распределение, математическая модель, методология, расчет.

Рассмотрены некоторые методологические аспекты расчета молекулярных параметров полимеров, образующихся в процессе обратимой живущей полимеризации. Предложен комплекс критериев, определяющих степень достоверности расчета молекулярно-массового распределения (ММР) и его параметров.

A.A. Hasanov, V.A. Efimov

TO THE METHODOLOGY OF CALCULATION OF MOLAR MASS DISTRIBUTION OF POLYMERS

Keywords: molar mass distribution, mathematical model, methodology, calculation

Some methodological aspects of a question of calculation of molecular parameters of the polymers which are forming in the course of reversible living polymerization are considered. The complex of the criteria defining degree of reliability of the calculation of molar mass distribution and its parameters is offered.

Г.В. Абакумов, М.С. Данильченко, А.Н. Макарова

КОРРЕКТИРОВАНИЕ НОРМАТИВОВ РЕСУРСА АВТОМОБИЛЬНЫХ ШИН С УЧЕТОМ ФАКТОРОВ, ОЦЕНИВАЕМЫХ КАЧЕСТВЕННЫМИ ПРИЗНАКАМИ

Ключевые слова: корректирование нормативов ресурса, факторы условий эксплуатации, автомобильные шины.

В статье рассматривается вопрос оценки ресурса элементов автомобилей при использовании в переменных условиях. Предложена модель для решения задачи корректирования нормативов в зависимости от факторов, оцениваемых качественными признаками. Приведен расчет параметров модели на примере шин автомобилей Урал.

G.V. Abakumov, M.S. Danilchenko, A.N. Makarova

AUTOMOBILE TIRES RESOURCE STANDARDS CORRECTION, WITH FACTORS ESTIMATED BY QUALITATIVE ATTRIBUTES TAKEN INTO CONSIDERATION

Key words: resource standards correction, operational conditions factors, automobile tires.

In the article, a problem of automobile elements resource estimation while run in variable conditions is considered. A model for solving the standards correction problem according to factors estimated by qualitative attributes is offered. Model parameters calculation in terms of automobiles “Ural” tires is described.

Р.И. Адгамов, С.В. Дмитриев, Т.Н. Каримов, А.Х. Хайруллин

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО МНОГОНОМЕНКЛАТУРНОГО ПРОИЗВОДСТВА В МАШИНОСТРОЕНИИ С УЧЕТОМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ВНУТРЕННИХ ФАКТОРОВ

Ключевые слова: автоматизация технологических процессов, производительность, математическое моделирование, теория массового обслуживания, внутренние факторы производства.

В работе представлены результаты исследований математической модели оценки производительности автоматизированного станочного комплекса с учетом внутреннего взаимодействия факторов производства при широком диапазоне изменения исходных проектных данных многономенклатурного производства в машиностроении.

R.I. Adgamov, S.V. Dmitriev, T.N. Karimov, A.H. Khairullin

MATHEMATICAL MODEL OF PERFORMANCE AUTOMATIC MACHINERY MNOGONAMENKLATURNOGO PROIZVODSTVAV WITH INTERACTIONS OF INTRINSIC FACTOR

Keywords: process automation, performance, simulation, queuing theory.

This paper presents the results of the study of mathematical models for assessing the performance of automated machining complex with the internal interaction of factors of production in a wide range of original design data multinomenclature industrial manufacture.

А.В. Аминаров, А.С. Андреев, А.Н. Куликова

ОБ УПРАВЛЕНИИ ДВИЖЕНИЕМ УПРУГОГО ТЕЛА В ВЯЗКОЙ СРЕДЕ

Ключевые слова: функционально-дифференциальное уравнение нейтрального типа, вязкая среда, управление упругим телом, функционал Ляпунова.

На основе новых результатов об устойчивости функционально-дифференциального уравнения нейтрального типа с ядром Вольтерра решается задача об управлении упругим телом, движущимся в вязкой среде.

A.V. Aminarov, A.S. Andreev, A.N. Kulikova

ON MOTION CONTROL OF ELASTIC BODY IN THE VISCOUS MEDIUM

Keywords: functional-differential equation of neutral type, viscous medium, control of elastic body, Lyapunov functional.

On the base of new results on stability of the functional-differential equations of neutral type with Volterra kernel the problem of motion control of elastic body in the viscous medium is solved.

А.С. Андреев, В.В. Благодатнов, А.Р. Кильметова

УРАВНЕНИЯ ВОЛЬТЕРРА В МОДЕЛИРОВАНИИ ПИ- И ПИД-РЕГУЛЯТОРОВ

Ключевые слова: функционально-дифференциальное уравнение типа Вольтерра, управляемая механическая система, функционал Ляпунова.

В работе дано развитие метода функционалов Ляпунова в исследовании устойчивости функционально-дифференциального уравнения типа Вольтерра. На этой основе разработаны методики построения ПИ- и ПИД-регуляторов в задачах управления механическими системами.

A.S. Andreev, V.V. Blagodatnov, A.R. Kilmetova

VOLTERRA EQUATIONS ON MODELLING OF PI- AND PID-REGULATORS

Keywords: functional-differential equation of Volterra type, controlled mechanical system, Lyapunov functional.

This paper presents the development of the method of Lyapunov functionals in stability investigation of the functional-differential equations of Volterra type. On this base the methods of construction of PI- and PID-regulators at the problems of control of mechanical systems are developed.

В.В. Андреев, К.Г. Петров, Н.П. Тарасова, В.А. Чирков

ФОРМИРОВАНИЕ ОНТОЛОГИЧЕСКИХ И ДЕЯТЕЛЬНОСТНЫХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ СТУДЕНТОВ В ПРАКТИКЕ ОБУЧЕНИЯ

Ключевые слова: гуманитаризация, вербализм, предметность, мышление, категория системы.

В работе рассматриваются проблемы существующего технического образования и обсуждаются его основные недостатки. Предлагаются подходы к их устранению в направлении интеллектуализации образования. Приводится пример использования элементов системного подхода в практике обучения.

V.V. Andreev, K.G. Petrov, N.P. Tarasova, V.A. Chirkov

THE FORMATION OF THE ONTOLOGICAL AND PRACTICAL IDEAS OF THE STUDENTS IN THE PRACTICE OF TEACHING

Keywords: gumanitarization, verbalism, subject, thinking, category system.

To consider problems of the existing technical education and discusses its main deficiency. Offer approaches at them liquidate to the direction of towards intellectualization education. To consider an example of a systematic approach to the practice of teaching.

А.О. Артемова, Г.А. Шепелев

О МЕТОДЕ ВЕКТОРНЫХ ФУНКЦИОНАЛОВ ЛЯПУНОВА В ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ

Ключевые слова: управляемая система, управление движением, стабилизация, функционал Ляпунова.

В структуре обратной связи управляемой системы или управляемого процесса, как правило, возникает запаздывание в определении текущих параметров, в формировании управляющего сигнала и т.д. Математическое моделирование такой системы приводит к необходимости применения функционально-дифференциальных уравнений запаздывающего типа. К исследованию таких уравнений приводят,например, задачи использования ПИ- и ПИД- регуляторов, управления при неполной обратной связи. В работе излагаются некоторые новые результаты по стабилизации и управлению системами, описываемыми в общем виде функционально-дифференциальными уравнениями с конечным запаздыванием.

A.O. Artemova, G.A. Shepelev

ON THE VECTOR LYAPUNOV FUNCTIONAL METHOD IN MECHANICAL SYSTEMS CONTROL

Keywords: motion control, stabilization, Lyapunov functional, mechanical system.

In the structure of the feedback control system or control process usually occurs delay in determining the current parameters in the formation of the control signal, etc. Mathematical modeling of the system leads to the application of functional differential equations of retarded type. On the study of such equations are also caused problems of PI and PID controllers, control with incomplete feedback. In this paper we present some new results on the stability and control of systems described in the general form of functional differential equations with finite delay.

А.С. Багдасаров, Д.А. Урусов

АНАЛИЗ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОГО МЕТОДА ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ФОСФОГИПСА ОАО «НЕВИННОМЫССКИЙ АЗОТ»

Ключевые слова: фосфогипс, сырьевая смесь, полусухое прессование, влажность, нейтрализация.

Рациональным направлением утилизации промышленных отходов является их использование как техногенного сырья в производстве. Применение фосфогипса в производстве строительных материалов способом полусухого прессования является эффективным методом его утилизации. При прессовании полусухих смесей расстояние между частицами фосфогипса уменьшается до критического и начинается процесс кристаллизации с образованием кристаллической структуры прессованного фосфогипсового материала.

A.S. Bagdasarov, D.A. Urusov

THE ANALYSIS AND PROPOSALS EFFICIENT METHODS OF PRODUCTION OF BUILDING PRODUCTS FROM PHOSPHOGYPSUM OAO "NEVINNOMYSSK AZOT"

Keywords: phosphogypsum, raw mixture, semidry molding, wetness, neutralization.

Rational direction of utilization of industrial waste is to use them as man-made materials in production. The use of phosphogypsum in the manufacture of building materials by method of semidry pressing is an effective method of disposal. At pressing of the semidry mixture distance between particles of phosphogypsum decreases to a critical and begins the process crystallization with the formation a crystalline structure product from of pressed phosphogypsum.

Ф.Д. Байрамов, Б.Ф. Байрамов, А.Р. Фардеев

АВТОМАТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ РАСХОДА ЖИДКОСТИ В ГИДРОСИСТЕМАХ С КОМБИНИРОВАННЫМ ЭНЕРГОПИТАНИЕМ

Ключевые слова: гидросистема; регулирование расхода жидкости; комбинированное энергопитание от электродвигателя (ДВС) и ветродвигателя; режим подпитки.

Предложена система автоматического регулирования расхода жидкости в гидросистеме при комбинированном энергопитании от неветрового двигателя (электродвигателя или ДВС) и ветродвигателя. При этом в зависимости от скорости ветра электронасосный и ветронасосный агрегаты могут работать самостоятельно, а также в режиме подпитки.

F.D. Bairamov, B.F. Bairamov, A.R. Fardeev

AUTOMATIC SYSTEMS OF REGULATION OF FLOW RATE IN THE HYDRAULIC SYSTEMS WITH THE COMBINED ENERGY

Keywords: hydraulic system; regulation of flow rate; combined energy from the electric motor (ICE) and wind motor; recharge mode.

The system of automatic regulation of flow rate in the hydraulic system with the combined energy from the not wind motor (the electric motor or ICE) and the windmill is proposed. Herewith, depending on wind speed, electropump and the windpump units may work independently, as well as in recharge mode.

Н.Л. Бельская, П.А. Савельев

АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ МОНИТОРИНГОМ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ВУЗА

Ключевые слова: формальная модель предметной области, система менеджмента качества, научно-исследовательская деятельность, мониторинг.

В работе представлены структурно-функциональная модель автоматизированной системы управления мониторингом научно-исследовательской деятельности ВУЗа, дано формальное представление личного кабинета субъекта научно-исследовательской деятельности.

N.L. Belskaya, P.A. Saveliev

AUTOMATIC MANAGEMENT'S SYSTEM OF THE MONITORING OF THE SCIENTIFIC RESEARCH IN THE ACTIVITY OF THE INSTITUTE

Keywords: formal knowledge domain model, a system of quality management, research, monitoring.

This article deals with the structural and functional model of the automatic management's system of the monitoring of the scientific research in the activity of the institute. The formal representation of the personal account of the subject of scientific research, is given.

А.П. Буйносов, К.А. Стаценко, Е.В. Бган, Я.А. Мишин

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЧИН ПОВРЕЖДЕНИЯ ПОДШИПНИКОВ ТЯГОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОВОЗОВ

Ключевые слова: электровоз, тяговый электродвигатель, подшипник, дефект, электроожог, монтажный задир.

A.P. Buinosov, K.A. Statsenko, E.V. Bgan, Y.A. Mishin

RESEARCH OF THE REASONS OF DAMAGE OF BEARINGS OF TRACTIVE ENGINES OF ELECTRIC LOCOMOTIVES

Key words: the electric locomotive, tractive electromotor, bearing, defect, electroburn, mounting teases.

Исследованы основные причины образования дефектов подшипников тяговых двигателей электровозов постоянного тока, причины их возникновения.

Basic reasons of formation of defects of bearings of tractive engines of electric locomotives of a direct current, the reason of their origin are probed.

А.П. Буйносов, К.А. Стаценко, Е.В. Бган, Е.А. Гузенкова, Я.А. Мишин

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ РОЛИКОВЫХ ПОДШИПНИКОВ ТЯГОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОВОЗОВ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Ключевые слова: электровоз, тяговый электродвигатель, роликовый подшипник, надежность, эластомер, защитный экран.

Описаны разработка и результаты исследований по защите роликовых подшипников от повреждения электрическим током путем применения эластомера ГЭН-150В, а также защитных экранов из фторопласта-4, предназначенных для установки в тяговые двигатели с целью гашения коммутационного искрения и предотвращения вспышки кругового огня на коллекторе с последующим перебросом тягового тока через роликовые якорные подшипники.

A.P. Buinosov, K.A. Statsenko, E.V. Bgan, E.A. Guzenkova, Y.A. Mishin

RELIABILITY AUGMENTATION OF ROLLER BEARINGS OF TRACTIVE ENGINES OF ELECTRIC LOCOMOTIVES OF THE DIRECT CURRENT

Key words: the electric locomotive, tractive electromotor, roller bearing, reliability, elastoplastic, filter.

Development and results of researches on protection of roller bearings from damage by an electric current by use of the elastoplastic GEN-150V, and also filters from the polytetrafluorethylene-4, intended for installation in tractive engines for the purpose of blanking of switching sparking and preventing of flashout of circle fire on a collector with the subsequent transfer of a traction current via roller anchor bearings are described.

А.П. Буйносов, К.А. Стаценко, Е.В. Бган, Я.А. Мишин

РАЗРАБОТКА СПОСОБА ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ МОНТАЖНЫХ ЗАДИРОВ ЯКОРНЫХ ПОДШИПНИКОВ ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОВОЗОВ

Ключевые слова: электровоз, тяговый электродвигатель, якорный подшипник, монтажный задир, стенд для сборки, защитная пробка.

Проанализированы причины появления монтажных задиров якорных подшипников электровозов, даны рекомендации по их предотвращению путем применения модернизированного стенда для сборки тяговых электродвигателей, специально изготовленной защитной пробки.

A.P. Buinosov, K.A. Statsenko, E.V. Bgan, Y.A. Mishin

DEVELOPMENT OF THE METHOD OF WARNING MOUNTING ZADIROV OF ANCHOR BEARINGS OF TRACTIVE ELECTROMOTORS OF ELECTRIC LOCOMOTIVES

Key words: the electric locomotive, the tractive electromotor, the anchor bearing, mounting teases, the bench for assembly, protective cork.

The reasons of appearance mounting zadirov anchor bearings of electric locomotives are analyzed, recommendations about their preventing by use of the upgraded bench for assembly of the tractive electromotors, specially made protective cork are made.

А.П. Буйносов, А.М. Кислицын

СТРУКТУРНАЯ СХЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ОБМЕРА КОЛЕСНЫХ ПАР ЛОКОМОТИВОВ

Ключевые слова: локомотив, колесная пара, датчики, обмер, система автоматизированная.

В статье описана структурная схема автоматизировавнной системы для обмера колесных пар при движении локомотива на основе использования бесконтактных ультразвуковых датчиков.

A.P. Buinosov, A.M. Kislitsyn

SKELETON DIAGRAM OF AUTOMATED SYSTEM OF MEASUREMENT OF WHEEL COUPLES OF LOCOMOTIVES

Key words: the locomotive, wheel couple, sensors, measurement, system automated.

The summary: In article the skeleton diagram of avtomatizirovavnny system for measurement of wheel couples in case of locomotive movement on the basis of use of noncontact ultrasonic sensors is described.

А.П. Буйносов, Д.Ю. Козаков

АНАЛИЗ ПРИЧИН ПРЕЖДЕВРЕМЕННОГО ВЫХОДА ИЗ СТРОЯ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ НА ЭЛЕКТРОПОЕЗДАХ

Ключевые слова: электропоезд, аккумуляторная батарея, повреждения, анализ, схема зарядки.

В статье рассматриваются причины преждевременного выхода из строя аккумуляторных батарей на МВПС железных дорог Российской Федерации.

A.P. Buinosov, D.Y. Kozakov

THE ANALYSIS OF THE REASONS OF PREMATURE FAILURE OF STORAGE BATTERIES ON ELECTRIC TRAINS

Key words: the electric train, storage battery, damages, analysis, charging diagram.

The summary: In article the reasons of premature failure of storage batteries on MVPS of the railroads of the Russian Federation are considered.

С.Н. Буликов, М.В. Лысанова, В.Д. Сухов

УНИФИЦИРОВАННОЕ ПОТОЧНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Ключевые слова: поточный метод строительства; типичность, унификация, стандартизация и упрощение строительных и ресурсных потоков; автоматизация организационной и технологической подготовки производства.

Представлен один из возможных вариантов унифицированного представления производственного процесса. Его предлагается использовать при подготовке Проектов организации строительства и Сметной документации. Цель использования: повышение автоматизации совместной разработки этих управленческих документов; повышение качества планирования подрядной деятельности.

S.N. Bulikov, M.V. Lysanova, V.D. Sukhov

THE UNIFIED LINE REPRESENTATION OF PRODUCTION IN CONSTRUCTION

Key words: a line method of construction; typicalness, unification, the standard and simplification of building and resource flows; automation of organizational and technological preparation of manufacture.

In clause the possible variant of the unified representation of production is submitted. It(he) is offered to be used by preparation of the Projects of organization of construction and Budget documentation. The purpose of use: increase of automation of joint development of these administrative documents; increase of quality of planning of contract activity.

С.Н. Буликов, М.В. Лысанова, В.Д. Сухов

ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ КАЛЕНДАРНЫХ ПАРАМЕТРОВ СТРОИТЕЛЬСТВА

Ключевые слова: трудоемкость и продолжительность строительства; трудоемкость и продолжительность частных строительных потоков; расчетные и задаваемые (назначаемые) параметры строительного производства.

В статье рассмотрены традиционные способы определения продолжительности строительства объектов на основе СНиП 1.04.03-85. Показаны основные причины их слабого соответствия условиям инвестирования капитал. Предлагается иной подход к решению проблемы.*

S.N. Bulikov, M.V. Lysanova, V.D. Sukhov

THE BASIC PROBLEMS OF DEFINITION AND APPLICATION CALENDAR PARAMETERS OF CONSTRUCTION

Key words: labour capacity and duration of construction; labour capacity and duration of private (individual) building flows; settlement and nominated parameters of building manufacture.

In clause the traditional ways of definition of duration of construction on a basis СНиП 1.04.03-85 are considered. The basic reasons of their weak conformity to conditions of investment the capital are shown. Other approach to the decision of a problem is offered.*

А.Н. Бушуев, Е.А. Праслова

ГАЗОПОРШНЕВЫЕ И ГАЗОТУРБИННЫЕ СИСТЕМЫ ПРИ ИНДИВИДУАЛЬНОМ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИИ ЭЛЕКТРОСТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Ключевые слова: газотурбинная установка, газопоршневой двигатель, парогазовая установка, электросталеплавильное производство.

Произведена сравнительная оценка газопоршневых и газотурбинных технологий при их применении в индивидуальной системе энергообеспечения электросталеплавильного производства. Построена диаграмма сравнения газовых технологий, учитывающая увеличение производительности технологического процесса выплавки стали за счет дополнительного подвода тепловой энергии.

A.N. Bushuyev, E.A. Praslova

GAS PISTON AND GAS-TURBINE SYSTEM IN THE CASE OF INDIVIDUAL POWER SUPPLY OF ELECTRIC STEEL PRODUCTION

Key words: gas turbine, gas piston engine, gas turbine power plant, steel production.

Made a comparative assessment of gas piston and gas-turbine technologies in their application in individual system of energy supply of steel production. Built chart comparing gas technologies, taking into account the increase of productivity of technological process of steel due to the additional supply of thermal energy.

Р.А. Валиев, Т.Н. Каримов, Р.К. Сибгатуллин, А.Х. Хайруллин

МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ЗАДАЧА ПЛАНИРОВАНИЯ ДОСТАВКИ ТОПЛИВА ТРАНСПОРТНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ КОМПАНИЕЙ СЕТЯМ АЗС

Ключевые слова: математические методы, комплекс программ, маршрутизация транспорта.

R.A. Valiev, T.N. Karimov, R.K. Sibgatullin, A.H. Khairullin

MULTICRITERIA PROBLEM OF PLANNING TRANSPORTATION FUEL DELIVERY AND ENERGY COMPANY NETWORK STATIONS

Keywords: the mathematical methods complex of programs, the routing vehicles.

В работе представлены методы и алгоритмы решения многокритериальной задачи планирования доставки топлива, основанные на многоуровневой декомпозиции и выделении на каждом уровне некоторых обособленных подмножеств.

This paper presents methods and algorithms for solving multiobjective scheduling problem fuel delivery based on multilevel decomposition and allocation at each level of some isolated subsets.

С.С. Валькова, А.В. Степанец, В.Е. Верютина

ФОРМИРОВАНИЕ КОМПЛЕКСА ЗАДАЧ ПО УПРАВЛЕНИЮ ОБРАБОТКОЙ Ж.-Д. ВАГОНОВ В МОРСКОМ ПОРТУ

Ключевые слова: морской порт, вагоны, обработка вагонов, комплекс задач, структура, классификация.

Представлена разработанная авторами структура задач управления обработкой железнодорожных вагонов в морском порту в привязке к функциям и периодам процесса управления с учетом их значимости в процессе выработки управленческого решения

S.S. Valkova, A.V. Stepanets, V.E. Veryutina

THE FORMATION OF COMPLEX OF TASKS ON A MANAGEMENT BY CARGO HANDLING OF RAILWAY WAGONS IN A SEAPORT

Keywords: seaport, railway wagons, handling of railway wagons, complex of tasks, structure, classification.

The structure of management tasks worked out by authors is presented by cargo handling of railway wagons coming from functions and periods of management process taking into account their meaningfulness in the process of making of administrative decision.

М.И. Глушко, Е.В. Федоров

КОНТРОЛЬ ПЕРЕКРЫТИЯ КОНЦЕВЫХ КРАНОВ В ПОЕЗДЕ

Ключевые слова: Автоматические тормоза; безопасность движения; контроль целостности тормозной сети; циклограмма работы компрессора; концевые краны.

Автотормоза являются универсальным средством обеспечения безопасности движения, поэтому перед отправлением все тормоза поезда должны быть включены. Однако в эксплуатации наблюдаются случаи потери тормозной эффективности вследствие перекрытия концевых кранов, поэтому контроль состояния концевых кранов имеет важное значение.

M.I. Glushko, E.V. Fedorov

CONTROL OF BREAK PIPE OVERLAPPING IN THE TRAIN

Key words: Air brake; traffic safety; control of integrity of a brake network; chart of operation of the compressor; break pipe.

Air brakes are universal means of safety movement, therefore all brakes of the train have to be switched on before departure. However sometimes there are cases of losing the brake efficiency owing break pipe overlapping, that`s why control of break pipe overlapping has important significance.

А.О. Голубева

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕХАНИЗМА АДАПТАЦИИ ПРОЦЕССОВ ОРГАНИЗАЦИИ В АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ

Ключевые слова: автоматизация, управление, адаптация, процессы.

В статье рассмотрен механизм адаптации процессов подготовки производства под показатели заказа продукции. Предложена методика оценки экономической эффективности механизма адаптации с использованием нотации BPMN для моделирования бизнес-процессов в программной пакете Corel iGrafx Enterprise .

A.O. Golubeva

METHODOLOGY TO EVALUATE THE EFFECTIVENESS OF THE MECHANISM ADAPTATION PROCESSES OF THE ORGANIZATION IN AN AUTOMATED MANAGE SYSTEM

Keywords: automation, manage, adaptation, processes.

It is submitted the mechanism of adaptation processes for the preparation of production under the order of production figures. It is offered the method for evaluation of the effectiveness of economic adaptation with using BPMN notation for modeling business processes in the software package Corel iGrafx Enterprise.

С.А. Гусаров

ВЫБОР ОСНОВНЫХ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КОМБИНИРОВАННОЙ ГАЗОПАРОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ НА БАЗЕ АВИАЦИОННОГО ТВД ТВ7-117С

Ключевые слова: газотурбинная установка; основные параметры; эффективность; комбинированный цикл.

В статье приведены результаты расчетов по выбору основных термодинамических параметров газотурбинной и паротурбинной частей комбинированной энергетической установки на базе ТВД ТВ7-117С.

S.A. Gusarov

THE CHOICE OF THE MAIN THERMODYNAMIC PARAMETERS OF COMBINED GAS TURBINE POWER UNIT BASED ON THE AVIATION GTE TB7-117C

Keywords: gas turbine power unit; main parameters; efficiency; combined cycle.

The article presents the results of calculations on the choice of major thermodynamic parameters of gas turbine and steam turbine parts of combined power plant based on GTE TB7-117C.

С.В. Дмитриев, Т.Н. Каримов, А.Х. Хайруллин

ПОСТРОЕНИЕ УНИФИЦИРОВАННОГО ПРОГРАММНОГО И ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ И СРЕДСТВ ИХ НАСТРОЙКИ

Ключевые слова: математические методы, комплекс программ, маршрутизация транспорта.

В работе представлен метод построения унифицированного программного и информационного обеспечений автоматизированной логистической транспортной системы и средств их настройки основанный на принципах многоуровневого матричного структурированного представления транспортно-технологического процесса.

S.V. Dmitriev, T.N. Karimov, A.H. Khairullin

CONSTRUCTION OF THE UNIFIED SOFTWARE AND INFORMATION SUPPORT AUTOMATED LOGISTICS TRANSPORT SYSTEM AND CONFIGURATION TOOLS

Keywords: the mathematical methods complex of programs, the routing vehicles.

This paper presents a method of constructing a unified software and information support for automated logistics transport system and configuration tools based on the principles of multi-level matrix structured representation of transport process.

С.В. Дмитриев, В.Б. Хлюпин

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАСЧЕТА ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ ДИЗЕЛЯ С ВПРЫСКОМ ВОДЫ В ВОЗДУХОЗАБОРНЫЙ ТРУБОПРОВОД

Ключевые слова: математическая модель, процесс сгорания, токсичность, дизель, впрыск, вода.

Рассмотрены результаты теоретических исследований математической модели сгорания топлива в дизеле с впрыском воды в воздухозаборный трубопровод с использованием расчетов равновесного состава продуктов сгорания и в сравнении с экспериментальными данными по составу продуктов сгорания с целью оценки экологических показателей дизеля с впрыском и без впрыска воды.

S.V. Dmitriev, V.B. Khlyupin

MATHEMATICAL MODEL OF CALCULATION PRODUCTS COMBUSTION DIESEL ENGINE WITH INJECTION OF WATER INTO THE AIR INTAKE PIPELINE

Keywords: mathematical model, combustion process, toxicity, diesel engine, injection, water.

The results of theoretical investigations of the mathematical model combustion of fuel in a diesel engine with injection of water into the air intake pipeline with the calculation of the equilibrium composition of the combustion products and in comparison with the experimental data on the composition of the combustion products in order to assess the environmental performance of diesel engine with injection and without water injection.

С.В. Дмитриев, В.Б. Хлюпин

УТОЧНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ РАСЧЕТА ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ ДИЗЕЛЯ С ВПРЫСКОМ ВОДЫ В ВОЗДУХОЗАБОРНЫЙ ТРУБОПРОВОД

Ключевые слова: математическая модель, процесс сгорания, токсичность, дизель, впрыск, вода.

Уточнена математическая модель расчета равновесного состава продуктов сгорания топлива в дизеле с впрыском воды в воздухозаборный трубопровод для исследования токсичных характеристик. Проведено сравнение теоретических и экспериментальных исследований экологических показателей дизеля с впрыском и без впрыска воды. Уточнена константа равновесия химической реакции $2 \cdot CO + O_2 \leftrightarrow 2 \cdot CO_2$ *для теоретических расчетов дизеля с впрыском воды в воздухозаборный трубопровод.*

S.V. Dmitriev, V.B. Khlyupin

REFINEMENT MATHEMATICAL MODEL OF CALCULATION PRODUCTS COMBUSTION DIESEL ENGINE WITH INJECTION OF WATER INTO THE AIR INTAKE PIPELINE

Keywords: mathematical model, combustion process, toxicity, diesel engine, injection, water.

Refined mathematical model to calculate the equilibrium composition of the products combustion of fuel in a diesel engine with injection of water into the air intake pipeline for the study of toxic characteristics. A comparison of theoretical and experimental studies of the environmental performance of diesel engine with injection and without water injection. Specification of the equilibrium constant of a chemical reaction of $2 \cdot CO + O_2 \leftrightarrow 2 \cdot CO_2$ *for theoretical calculations of diesel engine with water injection into the air intake pipeline.*

В.И. Зубкова, С.Ф. Коренькова, Н.И. Малявский

ПРИРОДНОЕ И ТЕХНОГЕННОЕ НАНОСЫРЬЕ В ПРОИЗВОДСТВЕ СМЕШАННЫХ ВЯЖУЩИХ

Ключевые слова: смешанные вяжущие, активация, алюмощелочные шламы.

V.I. Zubkova, S.F. Korenkova, N.I. Malyavski

NATURAL AND TECHNOGENIC NANORAW MATERIALS IN PRODUCTION OF THE MIXED BINDERS

Keywords: mixed binders, activation, alyumoshchelochny raw sludge.

Приведены доказательства принадлежности шлама щелочного травления алюминия к нанотехногенному сырью. Обоснована целесообразность применения его в качестве активатора твердения смешанных вяжущих на основе природного сырья, в частности, известково-кремнеземистых вяжущих.

Proofs of accessory of raw sludge of alkaline etching of aluminum are provided to nanotechnogenic raw materials. Expediency of its application as the activator of concreting mixed binders on the basis of natural raw materials, in particular, the limy and siliceous binders is proved.

А.В. Иванов, А.С. Пахомов

РЕНГЕНОВСКИЙ МИКРОСТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ ПАЯНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ОЛОВЯННО - СВИНЦОВЫХ BGA – КОМПОНЕНТОВ, МОНТИРОВАННЫХ ПРИПОЕМ ОЛОВО – СВИНЕЦ

Ключевые слова: паяные соединения, печатная плата, контактная площадка, шариковый вывод, интерметаллидный слой, рентгенконтроль.

Несмотря на то, что технология BGA стала массовой, до сих пор остаются некоторые проблемы. Это организационные и технические вопросы, которые необходимо решить. Очень важно обеспечить правильное формирование паяного соединения, чтобы предотвратить такие дефекты, как непропаи и добиться высокого уровня надежности.

A.V. Ivanov, A.S. Pahomov

X-RAY MICROANALYSIS OF SOLDERED JOINTS OF TIN-LEAD BGA COMPONENTS ASSEMBLED BY TIN-LEAD SOLDER

Key words: soldered joints, printed circuit board, terminal pad, solder ball, intermetallic layer, X-ray control.

In spite of the fact that BGA technology has been put into mass production, some of the problems still exist. These are organizational and technical issues to be solved. It is very important to make a proper soldered joint to prevent such defects as a dry joint and achieve high level of reliability.

Т.Н. Иванова, П.А. Коробейников

ВЛИЯНИЕ СМАЗОЧНОГО ЭФФЕКТА СОЖ НА АЛМАЗНУЮ ОБРАБОТКУ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ТРУДНООБРАБАТЫВАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ

Ключевые слова: шлифование, смазочно-охлаждающая жидкость, алмазный шлифовальный круг.

Рациональное использование смазочно-охлаждающей технологической жидкости позволяет уменьшить силы трения и тепловыделение, интенсифицировать отвод тепла, обеспечить удаление стружки и отходов шлифования из зоны резания, уменьшить затупление, засаливание, износ шлифовального круга.

T.N. Ivanova, P.A. Korobeinikov

IMPACT LUBRICATING EFFECT COOLANT ON THE DIAMOND MACHINING OF PARTS FROM HARD MATERIALS

Keywords: grinding, cutting fluid, diamond grinding wheel-tion.

Rational use of the cutting process fluid to reduce friction and heat in contact, intensifies the heat-vat, to ensure the removal of chips and waste from the grinding of the cutting area, to reduce the blunt, salting and wear of the grinding wheel, to increase its efficiency.

А.М. Игнатова, В.Л. Попов, Б.Ю. Антонов, М.Н. Игнатов

КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННОЙ МАЛОГАБАРИТНОЙ ДУГОВОЙ ПЕЧИ ДЛЯ ПЛАВКИ ПЕТРУРГИЧЕСКОГО СЫРЬЯ

Ключевые слова: Петрургия, каменное литье, силикатный расплав, доменный шлак, минеральное сырье, дуговая печь, плавление.

В статье изложены материалы как была разработана, изготовлена и опробована опытно-промышленная малогабаритная дуговая печь для плавки петрургического сырья.

A.M. Ignatova, V.L. Popov, B.J. Antonov, M.N. Ignatov

STRUCTURAL CHARACTERIZATION EXPERIMENTAL INDUSTRIAL SMALL SIZED ELECTRIC ARC FURNACE FOR MELTING PETRURGICAL RAW

Keywords: Petrurgiya, stone molding, silicate melt, blast furnace slag, minerals, electric arc furnace melting.

The article describes the material as it was designed, manufactured and tested a pilot plant small scale arc furnace for melting petrurgical materials.

А.М. Игнатова, О.Ю. Шешуков, М.Н. Игнатов

РЕЦИКЛИНГ ТЕКУЩЕГО ДОМЕННОГО ШЛАКА С ПОМОЩЬЮ ЛИТЕЙНОГО МОДУЛЯ НА ПЛОЩАДКАХ ЦЕХОВ ШЛАКОПЕРЕРАБОТКИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

Ключевые слова: Петрургия, каменное литье, силикатный расплав, доменный шлак, рециклинг.

A.M. Ignatova, O.U. Sheshukov, M.N. Ignatov

RECYCLING OF THIS DOMAIN SLAG WITH FOUNDRY MODULE FOR SITES PLANTS SLAG METALLURGICAL COMPLEX

Keywords: *stone molding, silicate melt, blast furnace slag, recycling*

В статье изложены основные принципы рециклинга текущих доменных шлаков по методу изготовления петургических материалов технологией каменного литья.

The article describes the basic principles of the current recycling blast furnace slag method of manufacturing materials petrurgical stone casting technology.

А.С. Калитвин, В.А. Калитвин
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНТЕГРО-ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫМИ УРАВНЕНИЯМИ С ОПЕРАТОРАМИ РОМАНОВСКОГО И БАРБАШИНА

Ключевые слова: математическая модель, интегро-дифференциальное уравнение, оператор Романовского, оператор Барбашина.

Изучаются свойства математических моделей, описываемых интегро - дифференциальными уравнениями (ИДУ) с операторами Романовского и Барбашина. Показано принципиальное отличие ИДУ с операторами Романовского от ИДУ с операторами Барбашина. Отмечены задачи, моделируемые ИДУ с операторами Романовского и Барбашина.

A.S. Kalitvin, V.A. Kalitvin
MATHEMATICAL MODELLING BY INTEGRO-DIFFERENTIAL EQUATIONS WITH OPERATORS OF ROMANOVSRIJ AND BARBASHIN

Keywords: mathematical model, integro-differential equation, Romanovskij operator, Barbashin operator.

The properties of mathematical models described by integro-differential equations (IDE) with Romanovskij and Barbashin operators are studies. Fundamentally difference IDE with Romanovskij operators from IDE with Barbashin operators is shown. The problems, modelling of IDE with Romanovskij and Barbashin operators, are noted.

А.С. Калитвин, В.А. Калитвин
О МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ МНОГОСВЯЗНОЙ ЦЕПИ МАРКОВА

Ключевые слова: математическая модель, цепь Маркова, интегральное уравнение, теоремы Фредгольма.

Рассматривается задача многосвязной цепи Маркова. Математической моделью задачи является линейное интегральное уравнение с некомпактным оператором. Работа содержит условия, при которых для этого уравнения справедливы теоремы Фредгольма.

A.S. Kalitvin, V.A. Kalitvin
ON MATHEMATICAL MODEL OF MULTIPLY CONNECTED MARKOV CHAIN

Keywords: mathematical model, Markov chain, integral equation, Fredholm theorems.

A problem of multiply connected Markov chain is considered. The linear integral equation with noncompact operator is mathematical model of this problem. The article contain the conditions, by which Fredholm theorems for this equation are correct.

Ю.П. Кирин, В.В. Кирьянов
ЭВРИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ВАКУУМНОЙ СЕПАРАЦИИ ГУБЧАТОГО ТИТАНА

Ключевые слова: вакуумная сепарация, губчатый титан, температурный и вакуумный режимы, эвристические методы.

Проанализировано современное состояние технологии процесса вакуумной сепарации губчатого титана. Предложены эвристические методы совершенствования температурного и вакуумного режимов процесса. Приведены результаты промышленных испытаний и внедрения методов.

Yu.P. Kirin, V.V. Kiryanov
HEURISTIC METHODS OF IMPROVEMENT OF VACUUM SEPARATION OF THE SPONGY TITAN

Keywords: vacuum separation, titanium sponge, temperature and vacuum modes, heuristic research.

The current state of technology of the vacuum separation of titanium sponge is analysed. Heuristic methods of improvement of temperature and vacuum modes of separation are offered. Results of industrial tests of methods are given.

Ю.П. Кирин, В.В. Кирьянов, Л.А. Щепин
МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ВАКУУМНОЙ СЕПАРАЦИИ ГУБЧАТОГО ТИТАНА

Ключевые слова: вакуумная сепарация, губчатый титан, математическое моделирование, температурный и вакуумный режимы.

Рассмотрены математические модели, предназначенные для совершенствования процесса вакуумной сепарации губчатого титана. Приведены результаты математического моделирования процесса. Для дальнейшего совершенствования

Yu.P. Kirin, V.V. Kiryanov, L.A. Schepin
MATHEMATICAL METHODS OF IMPROVEMENT OF VACUUM SEPARATION OF THE SPONGY TITAN

Keywords: vacuum separation, titanium sponge, mathematical modeling, temperature and vacuum modes.

Mathematical models for improvement process of vacuum separation of titanium sponge are considered. Results of mathematical modeling of process are given. For further improvement of vacuum separation proposed to optimize temperature and vacuum modes of process. Formulated the optimization problem consisting in

вакуумной сепарации предложено оптимизировать температурный и вакуумный режимы процесса. Сформулирована задача оптимизации, заключающаяся в отыскании температурного и вакуумного режимов, минимизирующих длительность процесса сепарации.

search of temperature and vacuum modes minimizing duration of process of separation.

М.А. Кисляков, С.Г. Мосин

ПРИМЕНЕНИЕ КРИВЫХ ГИЛЬБЕРТА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ КЛАСТЕРИЗАЦИИ ТОПОЛОГИИ СЕНСОРНОЙ СЕТИ

Ключевые слова: сенсорная сеть, кривая Гильберта, автоматизация проектирования, кластеризация.

В работе представлен метод, основанный на применении кривых Гильберта, как частного случая кривых Пеано, для оптимального выделения кластеров сенсорной сети на этапе проектирования. Предложены две модификации метода, которые соответствуют двумерному и трехмерному вариантам топологии сети. Выполнена формализация метода с учетом специфики предметной области. Создана программная модель в системе MATLAB.

M.A. Kislyakov, S.G. Mosin

APPLICATION OF PEANO CURVES FOR CLUSTERING OF SENSOR NETWORK TOPOLOGY

Keywords: sensor network, Hilbert curve, design automation, clustering.

The paper presents a method based on application of Hilbert curves, as special case of Peano curves, for optimal clustering of sensor network at the design stage. Two modifications of method for two-dimensional and three-dimensional topologies are proposed. Method formalization is performed, and it matches to specific field area. Software model in MATLAB is realized.

Е.А. Кудашова, Е.Э. Звягинцева

ОБ УПРАВЛЕНИИ МЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ С ЦИКЛИЧЕСКИМИ КООРДИНАТАМИ

Ключевые слова: механическая система, позиционные и циклические координаты, обобщенное стационарное движение, стабилизация, управление.

Среди управляемых механических систем определенный класс составляют голономные механические системы с циклическими координатами. Для таких систем обоснованы модели управления непрерывного, кусочно-непрерывного и дискретного типов.

E.A. Kudashova, E.E. Zvyaginceva

ON THE MECHANICAL SYSTEMS CONTROL WITH CYCLIC COORDINATES

Keywords: mechanical system, positional cyclic coordinates, generalized stationary motion, stabilization, control.

Of controlled mechanical systems are a specific class holonomic mechanical systems with cyclic coordinates. For such systems, grounded relay control model of continuous and piecewise continuous types.

Л.П. Лагодина

СВОЙСТВА ВЕСОВЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ В ПОЛИКООРДИНАТНЫХ ОТОБРАЖЕНИЯХ

Ключевые слова: гладкая кривая, весовые коэффициенты, параметрические поликоординатные отображения.

Предлагается анализ и использование весовых коэффициентов в параметрических поликоординатных отображениях.

L.P. Lagodina

PROPERTIES OF WEIGT COEFFICIENTS IN POLIKOORDINATNYH MAPS

Keywords - a smooth curve, weights, polikoordinatnye parametric maps.

An analysis and the use of weights in polikoordinatnyh parametric maps are offered.

Р.И. Насыров

ЦЕЛЕВАЯ ФУНКЦИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ПРОГРАММЫ ОЦЕНКИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НАДЕЖНОСТИ НАКОПИТЕЛЕЙ ИНФОРМАЦИИ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯМИ

Ключевые слова: целевая функция, накопитель информации, система управления, надежность.

Сформулирована целевая функция разработки программы оценки и прогнозирования надежности накопителей информации в системах управления предприятиями с учетом экономического аспекта. Подробно рассмотрен экономический смысл используемых при этом терминов. Показано, что

R.I. Nasyrov

TARGET FUNCTION IN THE DEVELOPMENT OF ESTIMATION AND PROGNOSTICATION PROGRAM OF DATA STORAGE SYSTEMS RELIABILITY IN ENTERPRISES MANAGEMENT SYSTEMS

Keywords: target function, data storage, management system, reliability.

Target function in the development of estimation and prognostication program of data storage systems reliability in enterprises management systems taking into account economic aspect is formulated. Economic meaning of the terms used in this case is considered in

именно правильно указанная точка зрения позволяет с помощью целевой функции обосновать эффективность инвестирования в разработку данной программы в зависимости от степени важности накопителей информации в компьютерных системах управления.

detail. It is shown that correctly specified point of view allows use the target function to prove the effectiveness of investment in the development of the program depending on the importance degree of data storages in computer management systems.

О.А. Новоселов

КЛАССИФИКАЦИЯ СТРУКТУР ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ В НЕФТЕГАЗОВОМ КОМПЛЕКСЕ

Ключевые слова: организационная структура, производственная структура, транспортно-технологические системы, нефтегазовый комплекс.

Рассмотрен вопрос формирования структур транспортно-технологических систем в нефтегазовом комплексе. Классифицированы структуры систем. Приведены факторы, влияющие на формирование структур.

O.A. Novoselov

STRUCTURE CLASSIFICATION OF TRANSPORT-TECHNOLOGICAL SYSTEMS IN OIL AND GAS COMPLEX

Key words: organizational structure, industrial structure, transport-technological systems, oil and gas complex.

A problem of transport-technological systems structures formation in oil and gas complex is considered. Systems structures are classified. Factors influencing the structures formation are described.

А.А. Орлов

МЕТОДИКА ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И ТОЧНОСТИ ТОКАРНО-АВТОМАТНЫХ ОПЕРАЦИЙ НА ОСНОВЕ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ

Ключевые слова: токарные автоматы, многоинструментная наладка, угол разворота суппортов, режимы резания.

В работе представлена методика управления режимами резания при двухсуппортной многоинструментной обработке на токарных автоматах. В частности, описывается методика определения подачи, обеспечивающая заданную точность.

A.A. Orlov

PROCEDURE OF THE EFFICIENCY GAIN AND ACCURACY OF TURNING AUTOMATIC OPERATIONS ON THE BASIS OF MANAGEMENT IN TECHNOLOGICAL PARAMETERS

Keywords: Turning automatic devices, multitool cutting, angle of a turn of supports, modes of cutting.

In work the procedure of management by modes of cutting at two-support multitool cutting is presented to processing on turning automatic devices. In particular, the procedure of definition of the supply, providing the set accuracy is described.

С.А. Пашкевич, А.П. Пустовгар, А.Д. Веденин, Ф.А. Гребенщиков

ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ФАСАДНЫХ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ ФИБРОКОМПОЗИТОВ

Ключевые слова: фиброкомпозит, теплоизоляция, долговечность.

Проанализировано влияние окружающей среды на незащищенные фасадные теплоизоляционные фиброкомпозиты. Проведены натурные испытание промышленных фиброкомпозитов - минераловатных плит. Измерены теплопроводность, влажность и плотность фиброкомпозитов и установлено соответствие их требованиям технических условий. Даны рекомендации по повышению влагостойкости и прочности фасадных теплоизоляционных фиброкомпозитов.

S.A. Pashkevich, A.P. Pustovgar, A.D. Vedenin, P.A. Grebenshchikov

THERMAL INSULATION FIBRECOMPOSITES DURABILITY

Key words: fibrecomposite, thermal insulation, durability.

The article presents the analysis of the environmental influence on unprotected fibrecomposite facade insulation. Full-scale testing of mineral wool boards was conducted. Thermal conductivity, moisture and density of fibrecomposites were measured. Correspondence of their technical requirements was considered. The recommendations to improve water resistance and durability of facade insulating fibrecomposites were formulated.

В.Л. Попов, Б.Ю. Антонов, А.М. Игнатова

ЭВОЛЮЦИОННОЕ РАЗВИТИЕ И КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СОВРЕМЕННОЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ ПЕЧИ ДЛЯ ПЛАВКИ ПЕТРУРГИЧЕСКОГО СЫРЬЯ

Ключевые слова: Петрургия, каменное литье, силикатный расплав, доменный шлак, минеральное сырье, дуговая печь, плавление.

В статье рассматривается эволюционное развитие промышленных плавильных агрегатов для петрургического сырья, технологические особенности петрургических расплавов и конструкция наиболее современного плавильного агрегата для петрургического сырья.

V.L. Popov, B.Y. Antonov, A.M. Ignatova

EVOLUTION AND STRUCTURAL-CHARACTERIZATION OF MODERN INDUSTRIAL ELECTRIC FURNACE FOR MELTING PETRURGICAL RAW

Keywords: Petrurgiya, stone molding, silicate melt, blast furnace slag, minerals, electric arc furnace melting.

The article deals with the evolutionary development of industrial smelting units for petrurgical raw technological features petrurgical melts and construction of the most modern smelting unit for petrurgical materials.

Н.Н. Прокопенко, В.Г. Манжула

МИКРОЭЛЕКТРОННЫЙ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ ДЛЯ СЕНСОРОВ С ВЫСОКИМ ВЫХОДНЫМ СОПРОТИВЛЕНИЕМ

Ключевые слова: дифференциальный усилитель, ток базы, крутизна, входное сопротивление, каскад.

В работе представлен дифференциальный усилитель на основе перекрестного включения параллельно-балансных каскадов с улучшенными значениями входного сопротивления и тока, крутизны и напряжения смещения нуля. Предложенное схемотехническое решение может быть использовано в структуре аналоговых микросхем различного функционального назначения.

N.N. Prokopenko, V.G. Manzhula

MICROELECTRONIC DIFFERENTIAL AMPLIFIER FOR SENSORS WITH HIGH OUTPUT IMPEDANCE

Keywords: differential amplifier, the base current, the slope of the input impedance, the cascade.

This paper presents a differential amplifier based on the inclusion of cross-balanced parallel stages with improved values of the input resistance and current, slope and offset voltage. The proposed circuit solution can be used in the structure of analog ICs for various applications.

Т.В. Прохорова

ОСОБЕННОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ В УРБАНИЗИРОВАННОЙ СРЕДЕ

Ключевые слова: Возобновляемая энергия, ветровой режим, ветроэнергетическая установка, архитектурно-конструктивные решения, градостроительство.

В статье проанализированы особенности размещения ветроэнергетических установок на зданиях и определению в связи с этим ветроэнергетического потенциала застройки. Представлены перспективы развития ветропарка на примере комплекса общественной застройки. Раскрыта типологическая основа для принятия решений о размещении ветроэнергетических установок. Публикация выполнена в рамках ГК 16.552.11.7064 от 13.07.2012 г.

T.V. Prokhorova

FEATURES AND PROSPECTS OF WIND POWER DEVELOPMENT IN THE URBAN ENVIRONMENT

Key words: Renewable energy, wind, Wind Turbine, architectural constructive solutions urban planning

The paper analyzes the features of placing wind turbines on buildings and determination in this regard, the potential of wind energy development. Presents prospects of wind power as an example of the complex public building. Disclosed typological basis for making decisions on the placement of wind turbines. Publication is made in the framework of GC 16.552.11.7064, 13.07.2012.

А.П. Пустовгар, А.Д. Веденин

ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ НАНОКОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ АЭРОГЕЛЯ КРЕМНЕЗЕМА

Ключевые слова: теплоизоляционные нанокомпозиты, аэрогель, амбигель, нанокремнезем.

В статье рассмотрены теплоизоляционные нанокомпозиты на основе аэрогеля кремнезема и технология их получения. Исследовано влияние температуры термообработки нанокомпозита SiO_2–TiO_2 на его структурные и тепловые характеристики.

A.P. Pustovgar, A.D. Vedenin

THERMAL INSULATION NANOCOMPOSITES BASED ON SILICA AEROGEL

Key words: thermal insulation, nanocomposites, aerogel, ambigel, nanosilica.

Thermal insulation nanocomposites SiO_2–TiO_2 are considered. Effects of various calcination temperatures on nanocomposite structure and heat conductivity are studied. Thermal conductivity of nanocomposites SiO_2–TiO_2 after heat treatment at temperature 300 ^{O}C was

Коэффициент теплопроводности нанокомпозита SiO_2–TiO_2 после термообработки при температуре 300 ^{O}C был равен 0,017(Вт/м•К), измеренный при 21 ^{O}C.

equal 0,017 W/(m•K) measured at 21 ^{O}C.

В.Я. Свинцов, Е.Н. Шматова, М.С. Хлыстунов, Р.В. Муканов

ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИЙ СПОСОБ ДИСПЕРГИРОВАНИЯ ЖИДКИХ ТОПЛИВ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К КОТЕЛЬНЫМ УСТАНОВКАМ

Ключевые слова: распыление, электростатическое распыливание, диспергирование, факел, теплогенерирующие установки.

Рассмотрены различные способы диспергирования жидкого топлива, существующего в настоящее время. Выявлены их достоинства и недостатки. Предложен новый способ диспергирования топлива в сильных электростатических полях. Описаны экспериментальные исследования по распылению модельных жидкостей и водно-топливных эмульсий.

V.Ya. Svintsov, E.N. Shmatova, M.S. Khlystunov, R.V. Mukanov

ELECTROSTATIC DISPERSION OF LIQUID FUELS IN RELATION TO BOILER PLANTS

Keywords: spraying, electrostatic atomization, dispersion, torch, heat generating installation.

Various methods of dispersing the liquid fuel that exists in the present. Identified their strengths and weaknesses. A new method for dispersing fuel in strong electrostatic fields. Described experemental research spraying model liquids and water-fuel emulsions.

В.С. Симанков, Е.С. Тарасов, С.А. Шилов

КОНЦЕПЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ ИЕРАРХИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ СИТУАЦИОННЫХ ЦЕНТРОВ КАК ПЛАТФОРМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ И АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Ключевые слова: ситуационный центр, принятие решений, управление, моделирование.

В статье рассмотрены подходы к построению иерархической системы ситуационных центров органов госдарственной власти на базе методик ситуационного анализа, моделирования и управления. Указанная система ситуационных центров, являющаяся сложным распределенным комплексом, выступает в качестве платформы развертывания интеллектуальных систем поддержки принятия решений и управления в режиме реального времени с учетом специфики рассматриваемых проблем и окружающей среды с возможностью работы в условиях неполноты, противоречивости и нечеткости исходной информации.

V.S. Simankov, E.S. Tarasov, S.A. Shilov

THE HIERARCHICAL SYSTEM OF SITUATION CENTERS BUILDING CONCEPT AS A DECISION-MAKING SUPPORT AND ADAPTIVE MANAGEMENT PLATFORM

Keywords: situational center, decision-making, adaptive management, modeling.

In article approaches to creation of the situational centers hierarchical system on the basis of situation analysis, modeling and management techniques are considered. The specified system of the situational centers being a difficult distributed complex, acts as a platform of expansion of intellectual systems of support of decision-making and management in real time taking into account specifics of considered problems and environment with work possibility in the incompleteness, discrepancy and an illegibility of initial information conditions.

В.В. Слепцов, А.М. Васильев, М.А. Костромин, А.П. Резько

АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК И СИНТЕЗ КОНТУРОВ ПОЛОЖЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ И УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ ЛАЗЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Ключевые слова: контуры положения, информационно-измерительные и управляющие системы, лазерные технологические установки.

В работе рассмотрены технические характеристики контуров положения информационно-измерительных и управляющих систем лазерных технологических установок. Проведен их анализ и синтез. Показано, что для обеспечения хороших динамических характеристик наиболее целесообразно применение регулятора положения с переменной структурой.

V.V. Slepsov, A.M. Vasilyev, M.A. Kostromin, A.P. Rezko

THE ANALYSIS OF TECHNICAL CHARACTERISTICS AND SYNTHESIS OF CONTOURS OF POSITION OF INFORMATION-MEASURING AND OPERATING SYSTEMS OF LASER TECHNOLOGICAL INSTALLATIONS

Keywords: position contours, information-measuring and operating systems, laser technological installations.

Technical characteristics of contours of position of information-measuring and operating systems of laser technological installations are considered. Their analysis and synthesis is carried out. It is shown that for maintenance of good dynamic characteristics most expediently application of a regulator of position with variable structure.

А.В. Татосов

ПРОТЕКАНИЕ НЕСМЕШИВАЮЩИХСЯ ЖИДКОСТЕЙ ПО СИСТЕМЕ КАПИЛЛЯРОВ

Ключевые слова: пористая среда, фильтрация, жидкость.

Предложена модель движения жидкостей по системе капилляров, основанная на введении интегральной величины капиллярного скачка давления. Приведен пример двухфазного вытеснения на двумерной сетке. Установлено, что втекание смачивающей жидкости во входном сечении происходит, как правило, через наиболее широкие капилляры.

A.V. Tatosov

THE FLOW OF IMMISCIBLE LIQUIDS SOFTWARE SYSTEM OF CAPILLARIES

Keywords: porous media, filtration, fluid.

A model of the movement of fluids in the system of capillaries offered, based on the introduction of the integrated value of the capillary pressure jump. An example of a two-phase displacement in the two-dimensional grid resulted. Found that the wetting fluid inflow at the inlet is usually through the most extensive capillaries.

А.Х. Хайруллин, Е.В. Зубков, Д.И. Мочалов

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ИСПЫТАНИЙ ДИЗЕЛЕЙ ПРИ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗКАХ НА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОМ ПРЕДПРИЯТИИ

Ключевые слова: математическая модель, дизель, частота вращения вала, нагрузка на валу, имитационное моделирование.

В работе приводится имитационная модель режимов работы дизеля при неустановившихся нагрузках. Это позволит во время проведения автоматизированных испытаний получать характеристики дизеля в условиях его реальной эксплуатации. Рассматривается возможность компенсации нагрузок для более плавной работы дизеля.

A.H. Hairullin, E.V. Zubkov, D.I. Mochalov

SIMULATION OF TECHNOLOGICAL PROCESSES OF THE AUTOMATED TESTS OF DIESELS AT DYNAMIC LOADINGS AT MACHINE-BUILDING ENTERPRISE

Keywords: mathematical model, *diesel, shaft rotation speed, the load on the shaft, simulation.*

The simulation of modes of behavior of the diesel is given in work at unsteady loadings. It will allow to receive during carrying out the automated tests diesel characteristics in the conditions of its real operation. Possibility of compensation of loadings for smoother operation of the diesel is considered.

Хо Вьет Хынг

ВЛИЯНИЕ МАСЛА НА ТЕПЛООТДАЧУ ПРИ КИПЕНИИ СМЕСЕВОГО ХЛАДАГЕНТА R410A НА РАЗВИТЫХ ПОВЕРХНОСТЯХ

Ключевые слова: теплоотдача, кипение, хладагент, масло, испаритель.

В работе приведены результаты экспериментального исследования теплообмена при пузырьковом кипении хладагента R410A с разными концентрациями масла на стандартно-оребренной трубе и трубах с развитой поверхностью. Было исследовано влияние геометрических параметров теплообменной поверхности и концентрации масла на коэффициент теплоотдачи при кипении на разных поверхностях.

Ho Viet Hung

BOILING OF OZONE-FRIENDLY REFRIGERANT R410A IN FLOODED EVAPORATOR

Keywords: heat transfer, boiling, refrigerant, oil, flooded evaporator.

Investigation of the nucleate boiling heat transfer of R410A with different oil mass fractions for integral-fin tube and enhanced tubes was carried out in this study. The effect of geometric parameters and oil concentration on the boiling heat transfer coefficients of different surfaces were investigated.

Хоанг Ван Кует

МЕТОД КОНТРОЛЯ ЛОГИЧЕСКИХ ВЫВОДОВ В СЕМАНТИЧЕСКИХ БАЗАХ ДАННЫХ

Ключевые слова: контроль доступа, логический вывод, язык описания ресурсов (RDF), несанкционированный доступ.

Рассмотрена основная проблема обеспечения безопасности работы с семантическими данными и также введены основные логические правила и понятия графов RDF-данных. Создан метод контроля возможности выполнения логических выводов при работе с семантическими данными.

Hoang Van Quyet

CONTROL INFERENCE IN SEMANTIC DATABASES

Keywords: access control, inference, Resource description framework (RDF), unauthorized access.

This paper proposes method for controlling access to semantic database. The problems of access control in semantic data are identified: control direct access to data and control inferences for semantic data. The basic definitions of relations between objects in the semantic data are concerned. The method of controlling inferences semantic data by unauthorized users is proposed.

А.Н. Цуриков

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ АДРЕСНОГО ОПОВЕЩЕНИЯ О ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ ПРИ ПОМОЩИ SMS-СООБЩЕНИЙ

Ключевые слова: SMS-сообщение, мобильный телефон, оповещение, чрезвычайная ситуация.

В статье описано устройство и способ, предназначенные для адресного оповещения о чрезвычайной ситуации при помощи SMS-сообщений. Разработка позволяет усовершенствовать технологию SMS-оповещения. Устройство и способ защищены заявкой РФ на выдачу патента на изобретение.

A.N. Tsurikov

IMPROVEMENT OF SELECTIVE ALERTING TECHNOLOGY ABOUT EMERGENCY SITUATION ON BASIS OF SMS-MESSAGES

Keywords: SMS-message, mobile phone, alerting, emergency situation.

The article describes the device and technique, which designed for selective alerting about emergency situation on basis of SMS-messages. It allows improve technology of SMS-alerting. The device and technique are protected by invention application of Russian Federation.

Н.В. Шопперт, С.Ф. Катышев, Е.А. Никоненко, М.П. Колесникова

О ПОЛУЧЕНИИ ПИГМЕНТОВ ИЗ СПЕКАТЕЛЬНОГО ШЛАМА БОГОСЛОВСКОГО АЛЮМИНИЕВОГО ЗАВОДА

Ключевые слова: производство глинозема, шламы, химический и фазовый состав, пигменты.

Проведен комплексный анализ спекательного шлама с целью его последующей переработки и получения пигментов. Для анализов химического и фазового состава спекательного шлама применялись эмиссионный спектральный, рентгенофазовый, а также ИК спектроскопический методы. Установлено, что цветонесущей фазой в пигментах является андрадит.

N.V. Shoppert, S.F. Katyshev, E.A. Nikonenko, M.P. Kolesnikova

ON RECEIPT OF THE PIGMENTS OF SINTERING MUDS BOGOSLOVSK ALUMINIUM SMELTER

Keywords: production of alumina, muds, chemical and phase composition, pigments

The complex analysis sintering muds for the purpose of its subsequent processing and receiving pigments is carried out. For the analysis of chemical and phase composition muds applied emission spectral, x-ray, as well as the IR spectroscopic methods. It is established, that coloration in pigments is andradite.

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 редакционных 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

№1 2013

Направления:

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ
ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ
ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

www.ntvp.ru

Свидетельство № ПИ № ФС77-41672 от 13 августа 2010г.

Подписано в печать 20.02.2013 Формат 60 х 84 1/8. Печать цифровая.

15,8 усл.печ.л. 18,2 уч.изд.л. Тираж 900 экз. Заказ 963.

Учредитель: ООО "Научно-технический вестник Поволжья"
420043, Республика Татарстан, Казань,
ул. Лесгафта, д.6
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»