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

№3 2013

Направления:

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ
ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ
ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Казань

2013

УДК 60

ББК 30-1

Н-66

Н-66 Научно-технический вестник Поволжья. №3 2013г. – Казань: Научно-технический вестник Поволжья, 2013. – 322 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

Б.Н. Иванов, В.С. Минкин, Е.Л. Древницкая ОСНОВЫ МЕТОДОЛОГИИ СОЗДАНИЯ РАЦИОНАЛЬНОЙ КЛАССИФИКАЦИИ СОВМЕСТИМОСТИ НЕФТЕЙ И ПАВ. ЧАСТЬ I. 11

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

А.А. Валеев ВЛИЯНИЕ ИНДУЦИРОВАННОЙ ФЛУКТУАЦИЯМИ ПЛОТНОСТИ УПРУГОЙ ДЕФАЗИРОВКИ НА ОТКЛИК КАРС В СИСТЕМЕ СФЕРИЧЕСКИ СИММЕТРИЧНО ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ ЧАСТИЦ ФЛЮИДА ВБЛИЗИ КРИТИЧЕСКОЙ ТОЧКИ 18

В.В. Дружинин, А.Г. Ломтев, А.Г. Сироткина МЕТОД БЫСТРОЙ ФАКТОРИЗАЦИИ ЧИСЕЛ 25

С.В. Ершов, А.В. Казаков МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА В КАНАЛЕ ДОЗИРУЮЩЕГО ЭКСТРУДЕРА 31

А.В. Казаков, Н.М. Труфанова ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО СЛОИСТОГО ТЕЧЕНИЯ АНОМАЛЬНО-ВЯЗКИХ ЖИДКОСТЕЙ В КАНАЛАХ КАБЕЛЬНОЙ ГОЛОВКИ 35

Е.Ю. Навалихина ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ, ПРОЛОЖЕННЫХ В ПОДЗЕМНОМ КАНАЛЕ 38

Н.А. Парфентьева, С.В. Труханов, С.А. Паулаускайте МЕТОД СУПЕРПОЗИЦИИ ПРИ РАСЧЕТАХ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ПОТЕНЦИАЛОВ 42

А.И. Самсонов, И.А. Самсонов ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ПОЛИХРОМАТИЧЕСКОЙ ПИРОМЕТРИИ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ 45

Е.В. Субботин, Н.М. Труфанова МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕИЗОТЕРМИЧЕСКИХ ТЕЧЕНИЙ В РАБОЧИХ И ОХЛАЖДАЮЩИХ КАНАЛАХ ПЛАСТИЦИРУЮЩЕГО ЭКСТРУДЕРА 48

В.С. Темников, С.В. Ланкин ОСОБЕННОСТИ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ЧИСТОГО ГАЛЛИЯ ИЗ ПЕРЕОХЛАЖДЕННОГО СОСТОЯНИЯ 52

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

А.А. Степачёва, Л.Ж. Никошвили, М.Е. Григорьев, А.В. Быков, Н.В. Лакина, Э.М. Сульман ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОДЕОКСИГЕНИРОВАНИЯ СТЕАРИНОВОЙ КИСЛОТЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ЧАСТИЦ ПАЛЛАДИЯ 56

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

А.И. Акимов МАТРИЧНЫЙ МЕТОД РЕШЕНИЯ КОМПЛЕКСИРОВАННЫХ ЗАДАЧ ТЕПЛООБМЕНА, МАССООБМЕНА И ТЕРМОНАПРЯЖЕНИЙ В МНОГОСЛОЙНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ С ФАЗОВЫМИ ПЕРЕХОДАМИ 60

В.В. Андреев, Е.В. Тесленко, В.П. Хранилов ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕМ В САПР 64

И.А. Анисимов, Л.Н. Буракова, В.Ф. Буторин РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ИСПЫТАНИЙ РАБОТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ АВТОМОБИЛЯ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА РАСХОД ТОПЛИВА 68

А.С. Безгин, Э.Л. Греков ПРИМЕНЕНИЕ ИНКРЕМЕНТАЛЬНОГО ЭНКОДЕРА КАК ДАТЧИКА СКОРОСТИ В ЦИФРОВЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ЭКСКАВАТОРНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПЕРЕМЕННОГО ТОКА 72
В.Ф. Беккер ВВЕДЕНИЕ МАСШТАБА ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО ПОДОБИЯ В ОПИСАНИЕ ГИДРОДИНАМИКИ ТРЕХФАЗНОГО ПСЕВДООЖИЖЕННОГО СЛОЯ 77
Н.Н. Беспалов, В.П. Глебочкин МОДЕЛИРОВАНИЕ ВРЕМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В ТИРИСТОРАХ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ИМПУЛЬСА НАПРЯЖЕНИЯ С ВЫСОКОЙ СКОРОСТЬЮ НАРАСТАНИЯ 81
Н.В. Бильфельд ИДЕНТИФИКАЦИЯ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ОБЪЕКТОВ УПРАВЛЕНИЯ СРЕДСТВАМИ ПАССИВНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА 85
П.Д. Блинов АВТОМАТИЧЕСКОЕ ВЫДЕЛЕНИЕ ИМЕНОВАННЫХ СУЩНОСТЕЙ В РУССКОЯЗЫЧНЫХ ТЕКСТАХ 91
А.П. Буйносов, Д.К. Зенович АНАЛИЗ ПРИЧИН ОТКАЗОВ ОСЕЙ КОЛЕСНЫХ ПАР ЭЛЕКТРОВОЗОВ 97
А.П. Буйносов, Д.К. Зенович ВЫБОР СПОСОБА ВОССТАНОВЛЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ОСЕЙ КОЛЕСНЫХ ПАР ЭЛЕКТРОВОЗОВ 100
А.П. Буйносов, А.М. Кислицын КОМПЛЕКСНАЯ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА КОЛЕСНЫХ ПАР ЭЛЕКТРОВОЗОВ В ДЕПО 103
А.П. Буйносов, И.М. Пышный, В.А. Тихонов МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИЗНАШИВАНИЯ БАНДАЖЕЙ КОЛЕСНЫХ ПАР ЭЛЕКТРОВОЗА 107
А.П. Буйносов, Н.Г. Фетисова ВЛИЯНИЕ МАТЕРИАЛА НА ИЗНОС БАНДАЖЕЙ КОЛЕСНЫХ ПАР ЭЛЕКТРОВОЗОВ И РЕЛЬСОВ 111
А.В. Варенцов, С.М. Дмитриев, А.А. Добров, Д.Н. Солнцев, А.Е. Хробостов ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ И РАСЧЕТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГИДРОДИНАМИКИ И МАССООБМЕНА ПОТОКА ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В МОДЕЛИ ТВС РЕАКТОРА КЛТ-40С 114
В.Г. Гагарин, В.В. Козлов, К.И. Лушин, П.П. Пастушков К ВОПРОСУ О ПРИМЕНЕНИИ ВЕТРОГИДРОЗАЩИТНЫХ МЕМБРАН В НАВЕСНЫХ ФАСАДНЫХ СИСТЕМАХ С ВЕНТИЛИРУЕМОЙ ВОЗДУШНОЙ ПРОСЛОЙКОЙ 120
С.Н. Голышев, С.Н. Ермаков, С.Н. Семёнов ВЫКИДНОЙ ТРУБОПРОВОД С ТЕПЛОИЗОЛЯЦИЕЙ ДЛЯ ТРАНСПОРТИРОВКИ НЕФТЕПРОДУКТОВ 123
С.Н. Голышев, С.Н. Ермаков, С.Н. Семёнов СОЕДИНИТЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ДЛЯ ГИБКИХ ПОЛИМЕРНО-АРМИРОВАННЫХ ТРУБ 126
Д.А. Давыдов, П.С. Манылов ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ NOSQL-СУБД 131
Д.А. Еделев, М.Г. Сульман, А.И. Сидоров, Е.В. Ожимкова, Б.Б. Тихонов, В.Ю. Долуда, Э.М. Сульман, Г.Ю. Рабинович ВОЗМОЖНЫЕ ПУТИ БИОКОНВЕРСИИ САПОНИНСОДЕРЖАЩИХ РАСТИТЕЛЬНЫХ ОТХОДОВ 136
А.М. Игнатова, О.Ю. Шешуков, В.Ф. Балакирев АНАЛИЗ, ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СЫРЬЕВОГО И МАТЕРИАЛЬНОГО ПОТЕНЦИАЛА ТЕХНОГЕННЫХ ОБРАЗОВАНИЙ ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ ПРИ ИННОВАЦИОННОМ ПОДХОДЕ К ИХ УПРАВЛЕНИЮ И ПЕТРУРГИЧЕСКОМУ РЕЦИКЛИНГУ 141
А.М. Игнатова, О.Ю. Шешуков, В.Ф. Балакирев СИСТЕМАТИЗАЦИЯ И КЛАССИФИКАЦИЯ ТЕХНОГЕННЫХ ОБРАЗОВАНИЙ УРАЛЬСКОГО ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА С ПОЗИЦИЙ ИХ ПЕТРУРГИЧЕСКОГО РЕЦИКЛИНГА 153
П.Б. Каган, Т.А. Барабанова ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФОРМАЛЬНЫХ ЯЗЫКОВ 166

А.В. Ключников, Е.Ф. Михайлов, М.С. Чертков ДИАГНОСТИКА ХАРАКТЕРИСТИК АСИММЕТРИИ МАСС СКОРОСТНЫХ ЛА МЕТОДОМ ДИНАМИЧЕСКОЙ БАЛАНСИРОВКИ 169
Л.А. Ковригин, И.Б. Кухарчук УПРАВЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫМ ПОЛЕМ НЕФТЯНОЙ СКВАЖИНЫ С ПАРАФИНОВЫМИ ОТЛОЖЕНИЯМИ В УСЛОВИЯХ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ 173
В.А. Корчагин НЕЙРОСЕТЕВОЙ ПОДХОД В ФОРМИРОВАНИИ РАЦИОНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ ЯМЗ-238 ПО ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ МАРШРУТАМ РЕМОНТА 177
А.А. Коряжкин, Д.И. Волков ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ АДАПТИВНОГО ЛЕНТОЧНОГО ШЛИФОВАНИЯ ЗА СЧЕТ ПРОГРАММИРУЕМОГО УПРАВЛЕНИЯ УСЛОВИЯМИ ОБРАБОТКИ 181
А.Г. Кривич, Г.П. Жигулин ГРАФИЧЕСКИЙ МЕТОД ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ 185
Т.А. Кузнецова, Е.А. Кулютникова, А.А. Рябуха ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ДИНАМИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ МЕТОДОМ ПРОСТРАНСТВА СОСТОЯНИЙ 188
Т.А. Кузнецова, П.В. Репп, В.Г. Кузнецов ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ CISCO UNIFIED WIRELESS NETWORK ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ КОРПОРАТИВНЫХ СЕТЕЙ 191
А.Е. Лысенков, Н.Н. Беспалов МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОВОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ СИЛОВЫХ МДП-ТРАНЗИСТОРОВ С ИНДУЦИРОВАННЫМ КАНАЛОМ 195
Ф.Н. Мирсаитов, Л.А. Гимадеева, В.В. Болознев СПЕКТР ПРИ РАДИОВОЛНОВОЙ ВИБРОДИАГНОСТИКЕ РОТОРА ГАЗОТУРБИННОГО АВИАДВИГАТЕЛЯ 198
Ф.Н. Мирсаитов, С.С. Сулейманов, В.В. Болознев СПОСОБ РАДИОВОЛНОВОЙ ВИБРОДИАГНОСТИКИ РОТОРА ГАЗОТУРБИННОГО АВИАДВИГАТЕЛЯ 202
В.Л. Мондрус, В.А. Смирнов ПРИМЕНЕНИЕ КЭ-МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ КОЛЕБАНИЙ ОТ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ МЕТРОПОЛИТЕНА 206
А.А. Морозенко РЕФЛЕКСНО-АДАПТИВНАЯ МОДЕЛЬ ОРГАНИЗАЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ ИНВЕСТИЦИОННО-СТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОЕКТОВ 209
С.В. Мурадов, С.В. Рогатых ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РАСТВОРОВ ЛЕЧЕБНОЙ ГРЯЗИ И ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ПЕЛОИДНЫХ ПРЕПАРАТОВ 214
А.Е. Насонова ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОЛОГИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ К ПРОЦЕССУ МОДЕЛИРОВАНИЯ СВОЙСТВ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ 218
В.Ю. Носков, А.В. Пономарев, Е.А. Гой, А.В. Костромин ГЕОБАЛАНСИРОВКА НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТСР ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ 221
О.И. Поддаева ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗОН РАЗМЕЩЕНИЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК В ЗАСТРОЙКЕ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ АНАЛИЗА КЛИМАТА И ФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ 225
С.Л. Проскуряков, А.Н. Рыкунов МОДЕЛЬ ЗОНЫ РЕЗАНИЯ С УЧЕТОМ ЦИКЛИЧНОСТИ ПРОЦЕССОВ ТРЕНИЯ В ЗОНЕ СТРУЖКООБРАЗОВАНИЯ 229
Т.В. Прохорова ИССЛЕДОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК В УСЛОВИЯХ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ 233
М.А. Пыльцин РАСЧЕТ «УПРОЩЕННЫМИ» МЕТОДАМИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ, ИСПЫТЫВАЮЩИХ СЖАТИЕ С ИЗГИБОМ В ДВУХ ПЛОСКОСТЯХ, В СООТВЕТСТВИИ С ЕС2 И СП 52-101-2003 237
А.А. Пятницкий, С.А. Крутик, М.А. Журенкова ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ УГЛЕПЛАСТИКА В ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЯХ 241

К.В. Рочев МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СБОРА И ОЦЕНКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СТУДЕНТА ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ МАТЕРИАЛЬНОГО СТИМУЛИРОВАНИЯ 246

А.Н. Рыкунов, С.Л. Проскуряков ОБОБЩЕННАЯ ВЗАИМОСВЯЗЬ ИЗНОСА ТВЕРДОСПЛАВНОГО ИНСТРУМЕНТА С ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКИМИ УСЛОВИЯМИ ПРОТЕКАНИЯ ПРОЦЕССОВ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ 253

А.Г. Рымаров, В.В. Савичев ВОЗДУШНЫЙ РЕЖИМ РЕГЕНЕРАТИВНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ В АДМИНИСТРАТИВНОМ ЗДАНИИ С ЗИМНИМ САДОМ 258

К.А. Смотрин ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗНАЧЕНИЯ НЕКОТОРЫХ НЕНОРМИРУЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ ЧАСТИЧНЫХ РАЗРЯДОВ 261

И.С. Стародубцев ИНИЦИАЛИЗИРУЕМЫЙ ЗАХВАТ ДВИЖЕНИЯ И СЛЕЖЕНИЕ НА ОСНОВЕ КАРТ ГЛУБИН ДЛЯ ЖЕСТОВОГО ИНТЕРФЕЙСА 264

М.В. Таланова, А.П. Пустовгар, С.А. Пашкевич ВЛИЯНИЕ БАЗАЛЬТОВОГО ФИБРОВОЛОКНА НА ОСНОВНЫЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕЛКОЗЕРНИСТОГО БЕТОНА 268

И.А. Таскин ЖЕСТКОСТЬ ПОЛОГИХ КУПОЛОВ ИЗ КЛЕЕНОЙ АРМИРОВАННОЙ ДРЕВЕСИНЫ РАЗЛИЧНЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ 272

В.Н. Хмелёв, А.Н. Сливин, А.Д. Абрамов ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРИ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ СВАРКЕ 278

В.Н. Хмелев, А.В. Шалунов, К.В. Шалунова, В.А. Нестеров, В.Е. Бажин СОЗДАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ УЛАВЛИВАНИЯ ВЫСОКОДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ ЦЕНТРОБЕЖНО-АКУСТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ 282

В.П. Хранилов, Е.В. Тесленко, В.В. Андреев ФОРМИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕМ В ПРОЕКТИРОВАНИИ ДЕТАЛЕЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ 286

К.В. Чалов, Ю.В. Луговой, А.Ю. Косивцова, Ю.Ю. Косивцов, Э.М. Сульман КОМПЛЕКСНЫЕ КАТАЛИТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ С ПОЛУЧЕНИЕМ ТЕПЛОВОЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ 290

К.В. Чалов, Ю.В. Луговой, А.Ю. Косивцова, Ю.Ю. Косивцов, Э.М. Сульман ТЕРМОКАТАЛИТИЧЕСКОЕ РАЗЛОЖЕНИЕ ОРГАНИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ КАК МЕТОД ПОЛУЧЕНИЯ ГАЗООБРАЗНОГО ТОПЛИВА И ГИДРОФОБНОГО ТВЕРДОГО ОСТАТКА 293

Д.Ю. Чунюк, С.А. Сергеев ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ (МКЭ) ПРИ РАСЧЕТАХ И ПРОЕКТИРОВАНИИ УСИЛЕНИЯ ФУНДАМЕНТОВ РЕКОНСТРУИРУЕМЫХ ЗДАНИЙ 297

АННОТАЦИИ 301

THE RELEASE MAINTENANCE

B.N. Ivanov, V.S. Minkin, E.L. Drevnitskaya THE BASICS OF METHODOLOGY FOR CREATING RATIONAL CLASSIFICATION FOR PETROLEUM AND SURFACE-ACTIVE SUBSTANCES COMPATIBILITY. PART I. 11

PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES

A.A. Valeev EFFECT OF THE DENSITY FLUCTUATIONS INDUCED ELASTIC DEPHASING ON THE CARS SPECTRUM OF THE SPHERICALLY SYMMETRIC INTERACTING FLUID PARTICLES IN THE CRITICAL POINT VICINITY 18
V.V. Druzhinin, A.G. Lomtev, A.G. Sirotkina METHOD OF THE QUICK FACTORIZATION OF NUMBERS 25
S.V. Ershov, A.V. Kazakov MATHEMATICAL MODELING AND NUMERICAL STUDY OF HEAT AND MASS TRANSFER PROCESSES IN THE METERING EXTRUDER CHANNEL 31
A.V. Kazakov, N.M. Trufanova NUMERICAL INVESTIGATION OF THE FLOW OF ABNORMALLY VISCOUS FLUIDS IN CHANNELS OF CABLE DIE 35
E.Yu. Navalikhina NUMERICAL SIMULATION OF TRANSIENT PROBLEM OF THE CABLE LINES IN AN UNDERGROUND 38
N.A. Parfentyeva, S.V. Truhanov, S.A. Paulauskaite SUPERPOSITION METHOD AT CALCULATIONS OF NON-STATIONARY POTENTIALS 42
A.I. Samsonov, I.A. Samsonov RESEARCH METHODS POLYCHROMATIC PYROMETERS FOR TEMPERATURE MEASUREMENT CONSTRUCTION MATERIALS 45
E.V. Subbotin, N.M. Trufanova MATHEMATICAL MODELING NON-ISOTHERMAL FLOWS IN A WORKING AND COOLING CHANNELS OF PLASTICATING EXTRUDER 48
V.S. Temnikov, S.V. Lankin THE PECULIARITIES OF GA CRYSTALLIZATION UNDER CONSTITUTIONAL SUPERCOOLING 52

CHEMICAL SCIENSEC

A.A. Stepacheva, L.Zh. Nikoshvili, M.E. Grigorjev, A.V. Bykov, N.V. Lakina, E.M. Sulman PHYSICO-CHEMICAL INVESTIGATION OF STEARIC ACID HYDRODEOXYGENATION WITH USE OF NANOSTRUCTURED PALLADIUM PARTICLES 56

ENGINEERING SCIENCE

A.I. Akimov MATRIX METHOD OF THE DECISION THE KOMPLEKSIROVANNYKH OF PROBLEMS OF HEAT EXCHANGE, THE MASS EXCHANGE AND THERMAL STRESSES IN MULTILAYERED DESIGNS WITH PHASE TRANSITIONS 60
V.V. Andreev, E.V. Teslenko, V.P. Hranilov THE DYNAMIC MODEL OF DESIGN TECHNOLOGYCAL COOPERATION MANAGING IN CAD CAPP SYSTEMS 64
I.A. Anisimov, L.N. Burakova, V.F. Butorin TEST RESULTS OF USE OF ELECTRIC VEHICLE SYSTEMS AND THEIR IMPACT ON FUEL ECONOMY 68
A.S. Bezgin, E.L. Grekov USING INCREMENTAL ENKODOROV HOW TO SPEED SENSOR IN DIGITAL CONTROL SYSTEMS BACKHOES AC DRIVES 72
V.F. Becker INTRODUCTION SCALE GEOMETRIC SIMILARITY IN THE ABOVE HYDRODINAMICS PHASE FLUIDIZED BED 77

N.N. Bespalov, V.P. Glebochkin MODELING OF TEMPORAL PROCESSES IN THYRISTORS ON EXPOSURE TO OFF-STATE VOLTAGE PULSE WITH A HIGH RATE OF RISE 81
N.V. Bilfeld IDENTIFICATION OF NON-STATIONARY OBJECTS PASSIVE CONTROL MEANS OF EXPERIMENT 85
P.D. Blinov AUTOMATIC NAMED ENTITY RECOGNITION IN THE RUSSIAN TEXT 91
A.P. Buinosov, D.K. Zenovich ANALYSIS OF CAUSES OF FAILURES OF AXES OF WHEEL COUPLES OF ELECTRIC LOCOMOTIVES 97
A.P. Buinosov, D.K. Zenovich CHOICE OF THE MODE OF RESTORATION OF OPERABILITY OF SHAFTS OF WHEELPAIRS OF ELECTRIC LOCOMOTIVES 100
A.P. Buinosov, A.M. Kislitsyn COMPLEX INFORMATION MEASURING SYSTEM OF MAINTENANCE AND REPAIR OF WHEEL COUPLES OF ELECTRIC LOCOMOTIVES IN DEPOT 103
A.P. Buinosov, I.M. Pishniy, V.A. Tikhonov MATHEMATICAL MODELLING OF PROCESS OF WEAR OF BANDAGES OF WHEEL COUPLES OF ELECTRIC LOCOMOTIVE 107
A.P. Buinosov, N.G. Fetisova INFLUENCE OF THE MATERIAL ON WEAR OF BANDAGES OF WHEEL COUPLES OF ELECTRIC LOCOMOTIVES AND RAILS 111
A.V. Varentsov, S.M. Dmitriev, A.A. Dobrov, D.N. Solntsev, A.E. Khrobostov EXPERIMENTAL AND NUMERICAL RESEARCHES OF HYDRODYNAMICS AND MASS TRANSFER OF COOLANT FLOW IN EXPERIMENTAL MODEL OF KLT-40S REACTOR FUEL ASSEMBLY 114
V.G. Gagarin, V.V. Kozlov, K.I. Lushin, P.P. Pastushkov ABOUT THE USE OF A WIND AND HYDROPROTECTIVE MEMBRANES IN HINGED FACADE SYSTEMS WITH A VENTILATED LAYER 120
S.N. Golyshev, S.N. Ermakov, S.N. Semyonov DISCHARGE PIPELINE WITH THERMAL INSULATION FOR OIL PRODUCTS TRANSPORTATION 123
S.N. Golyshev, S.N. Yermakov, S.N. Semyonov CONNECTION ELEMENTS FOR FLEXIBLE POLYMER-REINFORCED PIPES 126
D.A. Davydov, P.S. Manylov EVOLUTION OF NOSQL 131
D.A. Edelev, M.G. Sulman, A.I. Sidorov, E.V. Ozhimkova, B.B. Tikhonov, V.Yu. Doluda, E.M. Sulman, G.Yu. Rabinovich POSSIBLE WAYS OF BIOCONVERSION OF SAPONIN-CONTAINING PLANT WASTE 136
A.M. Ignatova, O.U. Shehukov, V.F. Balakirev ANALYSIS, PROBLEMS AND PROSPECTS OF RAW MATERIALS AND BUILDING MATERIAL TECHNOGENIC MINING INDUSTRY WITH INNOVATIVE APPROACH TO THEIR MANAGEMENT AND RECYCLING PETRURGICAL 141
A.M. Ignatova, O.U. Shehukov, V.F. Balakirev SYSTEMATIZATION AND CLASSIFICATION TECHNOGENIC URAL MINING AND METALLURGICAL COMPLEX FROM THE POINT OF RECYCLING PETRURGICAL 153
P.B. Kagan, T.A. Barabanova DESCRIPTION OF PROCESS IN CONSTRUCTION ON THE BASIS OF FORMAL LANGUAGES 166
A.V. Klyuchnikov, E.F. Mikhailov, M.S. Chertkov EXECUTION OF DIAGNOSTICS OF HIGH-SPEED FLYING VEHICLES' MASS-INERTIA ASYMMETRY CHARACTERISTICS WITH USE OF THE METHOD OF DYNAMIC COUNTERBALANCING 169
L.A. Kovrigin, I.B. Kuharchuk THERMAL FIELD CONTROL AT OIL WELL WITH PARAFFIN PRECIPITATIONS IN THE PERMAFROST 173
V.A. Korchagin THE NEURAL NETWORK APPROACH IN THE FORMATION OF RATIONAL DISTRIBUTION SYSTEM OF YAMZ-238 ENGINES ON TECHNOLOGICAL REPAIR ROUTES 177

A.A. Koryazhkin, D.I. Volkov IMPROVING THE EFFICIENCY OF ADAPTIVE BELT GRINDING BY PROGRAMMABLE CONTROL OF PROCESSING CONDITIONS 181
A.K. Krivich, G.P. Zhigulin GRAPHICAL METHOD FOR PROTECTING DATA 185
T.A. Kuznetsova, E.A. Kulyutnikova, A.A. Ryabuha THE IDENTIFICATION OF THE ELECTRICAL CIRCUIT IN DYNAMIC CONDITIONS MODELING BY STATE SPACE METHOD 188
T.A. Kuznetsova, P.V. Repp, V.G. Kuznetsov APPLICATION OF CISCO UNIFIED WIRELESS NETWORK TECHNOLOGY FOR CORPORATE NETWORKS SECURITY 191
A.E. Lysenkov, N.N. Bespalov METHOD OF DETERMINING THERMAL RESISTANCE OF POWER MOSFETS 195
F.N. Mirsaitov, L.A. Gimadeyeva, V.V. Boloznev SPECTRUM IN RADIO WAVE VIBRATION DIAGNOSTICS OF GAS-TURBINE AIRCRAFT ENGINES ROTOR 198
F.N. Mirsaitov, S.S. Suleymanov, V.V. Boloznev METHOD OF GAS-TURBINE ROTOR RADIO WAVE VIBRATION DIAGNOSTICS OF AIRCRAFT ENGINES 202
V.L. Mondrus, V.A. Smirnov FINITE ELEMENT MODELING OF WAVE PROPAGATION FROM UNDERGROUND TRAIN TRAFFIC IN SHALLOW BURIAL TUNNELS 206
A.A. Morozenko REFLEX ADAPTIVE MODEL OF ORGANIZATIONAL STRUCTURE OF INVESTMENT CONSTRUCTION PROJECTS 209
S.V. Muradov, S.V. Rogatykh PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF THERAPEUTIC MUD SOLUTIONS AND BASEMENTS OF GETTING PELOID PREPARATIONS TECHNOLOGY 214
A.E. Nasonova APPLICATION OF METHODOLOGY OF THE ECOLOGICAL ASSESSMENT TO PROCESS OF MODELLING OF PROPERTIES OF CONSTRUCTION MATERIALS 218
V.Y. Noskov, A.V. Ponomarev, E.A. Goy, A.V. Kostromin GEOBALANCING ON THE BASIS OF THE ANALYSIS OF TEMPORARY CHARACTERISTICS TCP INTERACTION 221
O.I. Poddaeva BASIC PRINCIPLES OF DISTRIBUTION AREA LOCATION WIND TURBINES IN THE BUILDING ON THE ANALYSIS OF CLIMATE AND PHYSICAL MODELING 225
S.L. Proskuryakov, A.N. Rykunov MODEL TOOL ZONE IN VIEW OF RECURRENCE OF PROCESSES OF FRICTION IN ZONE CHIP FORMATION 229
T.V. Prokhorova STUDIES ON THE USE OF WIND TURBINES IN URBAN AREAS 233
M.A. Pyl'tsyn "SIMPLIFIED" ANALYSIS OF REINFORCED CONCRETE ELEMENTS WORKING UNDER COMPRESSION WITH BENDING IN TWO PLANES IN ACCORDANCE WITH ES 2 AND SP 52-101-2003 237
A.A. Pyatnitskiy, S.A. Krutik, M.A. Zhurenkova OPTIONS FOR USE OF CARBON PLASTIC COMPOSITE MATERIALS AS PART OF TIMBER STRUCTURES 241
K.V. Rochev MODELING OF THE STUDENT'S PERFORMANCE ASSESSMENT FOR THE INFORMATION SYSTEM OF MATERIAL INCENTIVES CONSTRUCTION 246
A.N. Rykunov, S.L. Proskuryakov GENERALIZED RELATIONSHIP BETWEEN CEMENTED-CARBIDE TOOL WEAR AND THERMOMECHANICAL CONDITIONS OF METAL TURNING PROCESSES 253
A.G. Rymarov, V.V. Savichev AIR MODE OF REGENERATIVE VENTILATION IN AN OFFICE BUILDING WITH A WINTER GARDEN 258
K.A. Smotrin SINGULARITIES OF DEFINITION VALUES OF SOME NONNORMABLE PARAMETERS OF PARTIAL DISCHARGES 261
I.S. Starodubtsev DEPTH MAP BASED INITIALIZED MOTION CAPTURE AND TRACING FOR GESTURE INTERFACE 264
M.V. Talanova, A.P. Pustovgar, S.A. Pashkevich INFLUENCE OF THE BASALT FIBRE OF FINE-GRAINED CONCRETE BASIC PROPERTIES 268

I.A. Taskin RIGIDITY OF LOW-PITCHED DOMES OF DIFFERENT CONSTRUCTION SOLUTIONS 272
V.N. Khmelev, A.N. Slivin, A.D. Abramov INCREASING OF ENERGY EFFICIENCY OF ULTRASONIC WELDING EQUIPMENT 278
V.N. Khmelev, A.V. Shalunov, K.V. Shalunova, V.A. Nesterov, V.E. Bazhin THE EQUIPMENT DEVELOPMENT FOR THE FINE PARTICLES TRAPPING WITN A CENTRIFUGAL AND ACOUSTIC METHOD 282
V.P. Hranilov, E.V. Teslenko, V.V. Andreev CREATING OF THE DESIGN TECHNOLOGYCAL COOPERATION MANAGING DYNAMIC MODEL IN MECHANICAL ENGINEERING 286
K.V. Chalov, Y.V. Lugovoi, A.Y. Kosivcova, Y.Y. Kosivcov, E.M. Sulman CATALYTIC COMPLEX TECHNOLOGIES THERMAL PROCESSING OF CARBON-CONTAINING WASTE WITH THE RECEIPT OF HEAT AND ELECTRICITY 290
K.V. Chalov, Y.V. Lugovoi, A.Y. Kosivcova, Y.Y. Kosivcov, E.M. Sulman CATALYTIC THERMAL DECOMPOSITION OF ORGANIC MATERIALS AS A METHOD OF GASEOUS FUEL AND A HYDROPHOBIC SOLID RESIDUES 293
D.Y. Chunyuk, S.A. Sergeev APPLICATION OF FINITE ELEMENT METHOD (FEM) FOR CALCULATION AND DESIGH TO STRENGTHEN THE FOUNDATIONS OF THE RECONSTRUCTED BUILDING 297

ABSTRACTS 301

02.00.13

Б.Н. Иванов д.т.н.

Казанский научно-исследовательский технологический университет,
нефтяной факультет, кафедра общей химической технологии, Казань, ivanovbn@rambler.ru

В.С. Минкин д.х.н.

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

Е.Л. Древницкая

Казанский научно-исследовательский технологический университет,
нефтяной факультет, кафедра общей химической технологии, Казань, drevnitskaya@bk.ru

ОСНОВЫ МЕТОДОЛОГИИ СОЗДАНИЯ РАЦИОНАЛЬНОЙ КЛАССИФИКАЦИИ СОВМЕСТИМОСТИ НЕФТЕЙ И ПАВ. ЧАСТЬ I.

Перспективы биосферы Земли, по сути, определяются уровнем химической технологии: три миллиона веществ в биосфере, ранее в природе не встречающихся, загрязнение атмосферы, воды и почвы и, как следствие этого, исчезновение и мутирование более 2000 видов живых организмов в год. В соответствии с этим актуально создание принципиально новых технологий добычи, подготовки и переработки нефти. Решению этой задачи способствует совместное классифицирование реактантов и процессов, в которых те участвуют.

Ключевые слова: *новые технологии, ассоциативность, нефтесодержащие системы, ПАВ.*

Создание новых технологий возможно только на базе накопленного научного потенциала и обобщенного осмысления законов естествознания. Особенно это важно для таких сложнейших систем, как нефтяные. На множество физических процессов в нефтях накладываются многочисленные коллоидные явления. Происходящие в них процессы проявляются не только в сложности их природы, но и, как нам представляется, в *стохастичности*[1] и *ассоциативности*[2] [1, 2].

Как известно, в нефтяной отрасли одновременно сосуществуют две основные задачи: с одной стороны, максимум добываемой нефти при минимальном отрицательном воздействии на нее и окружающую среду; с другой, при наличии множества средств и технологических приемов добычи и подготовки нефти — унификация подхода к их выбору. Исследования в данном направлении ведутся уже достаточно давно, однако, им *не хватает системности и общего базиса*.

Системный подход предполагает одновременное рассмотрение всего объекта исследования в целом и его составных частей в отдельности с использованием *принципа дифференциации* и *интеграции* явлений [3, 4].

Физически реализовать системный подход для оценки сложных систем и процессов

---

[1] По нашему мнению, стохастический процесс не столько вероятностный, сколько вероятный, протекание которого может быть различным в зависимости от события. Для процессов нефтедобычи, нефтепереработки и нефтехимии такая формулировка означает, что те или иные явления произойдут, но вклад их, в зависимости от природы явлений и условий процесса, будет «случайно-статистическим».

[2] Под *ассоциативностью* авторы понимают характеристику структуры и механизма образования моно- или полиингредиентных сложных надмолекулярных образований; под *ассоциатами* – сами эти образования.

можно, пользуясь усредненными самой природой характеристиками.

Для нефтесодержащих систем это хорошо известные параметры и функции межфазных и внутрифазных физических, физико-химических и химических взаимодействий: структурно-групповой состав, собственная и вынужденная ассоциация и диссоциация и обусловленные этими факторами вязкость, межфазное натяжение, теплоемкость, плотность, температуры фазово-полиморфного превращения.

Исходная нефть существенно отличается от нефти, добываемой в ходе эксплуатации месторождения. В ней гораздо меньше мехпримесей; вода, в основном, находится в связанном состоянии; структурно-групповой состав заметно отличается. Эти отличия обусловлены нагнетанием в нефтеносные пласты значительного количества воды, имеющей различные физико-химические и микробиологические свойства. В результате протекания окислительных процессов в остаточной нефти увеличивается доля полициклических фрагментов и окислительных групп. Отсюда различия в качестве и структуре бронирующих и сольватных оболочек.

В то же время, техногенное воздействие на нефть начинается с самого бурения скважин и, следовательно, речь по существу идет о *степени* техногенного воздействия. Кроме того, при неэкстремальных методах воздействия уровень *внутренней ассоциации* и в той, и в другой нефти, по-видимому, не претерпевает существенных качественных изменений. Поэтому ассоциативность, абстрагируясь от химической природы, можно рассматривать как общую первичную составляющую нефти. Именно разные стадии [2, 5, 6] процесса саморегуляции, очевидно, и обуславливают наличие разных моделей сложных структурных единиц. Более того, все возможные внутренние конформации образуют, по-видимому, *подобные друг другу* внешние ассоциаты, также находящиеся в непрерывном динамическом развитии.

Длительный период разработки месторождений приводит к нарушению динамического равновесия в залежи. В этом случае может происходить либо структурирование нефти (переход от свободнодисперсной к связнодисперсной системе) с увеличением ее вязкости, либо фазовые переходы с выпадением высокомолекулярных компонентов. Неньютоновские свойства нефти в пласте проявляются при сравнительно высоком содержании смолисто-асфальтеновых компонентов, кристаллизации твердых высокомолекулярных парафинов, физико-химическом взаимодействии фильтрующейся пластовой жидкости и материала пористой среды с проникающими в пласт жидкостями.

Величина энергии активации вязкого течения (ΔE_a) предопределена межмолекулярными взаимодействиями внутри надмолекулярных структур и между ними. Следовательно, увеличение или уменьшение энергии активации вязкого течения свидетельствует об изменениях надмолекулярной структуры жидкости. Величину ΔE_a принято определять по уравнению Френкеля-Андраде (1) [7] по зависимости логарифма вязкости ($\eta|_{min}$) от обратной температуры.

$$\eta = A \cdot e^{\frac{\Delta E_a}{RT}} \quad , \qquad (1)$$

где η – динамическая вязкость; A – предэкспоненциальный множитель; R – универсальная газовая постоянная; T – температура, К.

Однако применение формулы (1) имеет существенный недостаток из-за *некорректности* использования универсальной газовой постоянной при характеристике сложных жидкофазных систем. Поэтому представляется целесообразным использование общего универсального волнового уравнения, успешно применяемое при расчетах вязкости, теплоемкости, плотности, межфазного натяжения и названное *характеристическим волновым уравнением (ХВУ) жидкофазных систем и их взаимодействий*, предложенное Б.Н. Ивановым и Р.Н. Костроминым [8, 9].

Данное уравнение имеет следующий общий вид:

$$y = ae^{e^{(bx+c)}} \quad , \qquad (2)$$

где *x* – варьируемый кинетический фактор (в частности, им может служить температура);

c – коэффициент, зависящий от химической природы компонентов нефтесодержащих систем; $e^{(bx+c)}$ учитывает пространственный фактор (ассиметричность и динамику изменения формы ассоциатов в пространстве); *a* – предэкспонециальный множитель, учитывающий изменение амплитуды колебания относительно среднего значения.

При подсчете вязкости волновое уравнение принимает конкретную форму:

$$\mu = e^{e^{(AT+B)}}, \qquad (3)$$

где μ – динамическая вязкость, сПз; *T* – температура, *K*; *A, B* – коэффициенты, соответствующие *b* и *c* в формуле (2).

Алгоритм расчетов следующий:

1. Для значений μ_{max}, μ_{min}, μ_{sred} производится двойное логарифмирование по натуральному основанию.
2. По вторым логарифмам строится их графическая зависимость от температуры.
3. По графической зависимости определяются коэффициенты *A* и *B* (программа «Excel-packet»).
4. По полученному конкретному виду соотношения (3) рассчитываются значения $\mu_{min\ расч}$, $\mu_{max\ расч}$, $\mu_{sred\ расч}$.
5. Определяются степень корреляции экспериментальных и рассчитанных значений вязкости.

Результаты поверочного расчета для образцов нефти из разных скважин одного месторождения, приведенные в табл. 1, показали хорошую адекватность ХВУ.

Для нефтей Абдрахмановской площади Ромашкинского месторождения произведены расчеты по экспериментальным значениям вязкости [10, 11] при 30 ^{o}C и 50 ^{o}C. Результаты поверочного расчета, проведенного нами по методике, описанной в работе [12] для образцов нефти из разных скважин одного месторождения соответствовали более ранним и подтвердили хорошую адекватность ХВУ (табл. 1), где значения A_1, B_1 расположены в верхних частях соответствующих строк 1-10, а A_2, B_2 – в их нижних частях. Затем по их значениям определялась степень адекватности каждого варианта уравнения (3), после чего выбиралась граница целесообразности применения конкретного варианта.

Таблица 1 – Результаты поверочного расчета.

№ образца п/п	Температурный интервал изменения вязкостных свойств, К	A_i	B_i	R^2 (степень корреляции)
1	303-306	-0,0103*	4,6276*	1,0000
		-0,0241**	8,9328**	0,9584
2	303-306	-0,0019	1,6073	1,0000
		-0,0169	6,1182	0,9590
3	303-306	-0,0049	2,3526	1,0000
		-0,0165	5,9811	0,9465
4	309-313	-0,0051	2,4284	0,8604
		-0,0006	0,9566	1,0000
5	306-311	-0,0179	6,4656	0,9129
		-0,0260	9,0483	0,9884
6	306-309	-0,0145	5,4041	1,0000
		-0,0136	5,2103	0,7731
7	306-309	-0,0061	2,7445	0,9915
		-0,0079	3,0908	0,9926
8	309-313	-0,0296	0,9388	0,9388
		-0,0018	1,2455	1,0000
9	313-323	-0,0241	8,1872	0,9477
		-0,0076	2,9670	1,0000
10	311-313	-0,0116	4,5866	0,9464
		-0,0052	2,5899	1,0000

Примечание: 303-306 и 306-309 К – температурные интервалы перепада экспериментальной линии изменения вязкостных свойств нефтей.

По эффективности применения того или иного варианта ХВУ можно по минимуму экспериментального материала компьютерным расчетом определять *ньютоновскую* и *неньютоновскую* области реологической характеристики соответствующих нефтей. Полученные результаты способствуют предсказанию возможного характера миграции нефти в пласте, в скважине и трубопроводах.

Авторы работ [13, 14] нефти важнейшего месторождения Волго-Уральской нефтеносной провинции – Ромашкинского – подразделяют на *три* группы. В *первой* дисперсное строение характеризуется низкой долей асфальтенового ядра (от 0,09 до 0,16) и высокими отношениями смол к асфальтенам ($C_{см/асф}$) ~ 5,5-10,5 (следовательно, и большой толщиной сольватного слоя). Средняя вязкость 10-15 мм^2/с. Для *второй* группы характерно увеличение доли ядра дисперсной фазы до 0,20÷0,35 и уменьшение толщины сольватного слоя ($C_{см/асф}$ <4); вязкость ~20-25 мм^2/с. Зависимость вязкости от доли ядра в *третьей* группе нефтей при увеличении температуры носит полиэкстремальный характер. В интервале температур 20-80°С для нефтей всех групп наблюдалось [13, 14] критическое отношение содержания смол к содержанию асфальтенов (~5), ниже которого сложные структурные единицы являются устойчивыми вне зависимости от температуры.

По нашему мнению, показатель $C_{см/асф}$ не может служить характеристическим критерием для нефтей третьей группы. Это положение, по сути своей, *эмпирическое*. Дополнительно необходим учет свойств межфазных слоев части нефти, сформированной на поверхности поровых каналов коллекторов. Поэтому, как уже отмечалось, значительно более универсальной *результирующей характеристикой всех* фракций нефтей представляется их *динамическая ассоциативность.*

Общность исходных и техногенноизмененных нефтей проявляется, прежде всего, в их качественном составе, а отличия — в количественном структурно-групповом перераспределении ингредиентов. Воздействие различных технологий обработки нефтесодержащих систем в пласте происходит одновременно и на *нано*- и *макроуровнях*. Это вторая сторона *общего базиса* разных методов стимуляции нефтеизвлечения.

Следовательно, *принципиальных отличий* в интенсификации добычи и подготовки исходных и техногенноизмененных нефтей с одного яруса (тем более горизонта) конкретного месторождения нет (хотя вклад ньютоновских и неньютоновских областей поведения нефтей зависит от степени техногенного воздействия). Представляется целесообразным в ближайшие 10-20 лет отдавать предпочтение *сочетаниям* физических волновых технологий с химическими средствами, не требующих радикальных изменений оборудования и инфраструктуры нефтяных промыслов.

Общим условием *рационального* использования любых методов обработки нефтесодержащих систем является учет способности последних к самоорганизации. Основой для создания супрамолекулярного ансамбля служат конформационно жесткие и крупные молекулы. Например, к ним относятся продукты конденсации фенола и формальдегида, характеризующиеся наличием макроциклических полостных структур. Вообще, многие поверхностно-активные вещества входят в класс каликсаренов.

Огромное разнообразие технологий добычи и подготовки нефти, а также свойств добываемой продукции (состав, физико- и коллоидно-химические свойства нефти, минерализация пластовой воды, наличие мехпримесей, агрессивных газов, обводненность нефти и т.д.) и их вариабельность, предполагает специфические для каждого региона требования к реагенту-деэмульгатору.

Исследования как в России, так и за рубежом показали, что наиболее универсальными эффективными реагентами являются высокомолекулярные неионогенные поверхностно-активные вещества (НПАВ). НПАВ широко применяются не только в качестве деэмульгаторов, но и как эмульгаторы, ингибиторы коррозии, антистатики и стабилизаторы дисперсий. В связи с этим группой сотрудников ОАО «НИИНефтепромхим» и КНИТУ под руководством Н. А. Лебедева была исследована поверхностная активность синтезированных блок-сополимеров оксидов этилена (ОЭ) и пропилена (ОП) на основе этилендиамида (ЭДА),

моноэтиленгликоля (МЭГ) и триэтаноламина (ТЭА) и рассчитаны адсорбционные параметры данных соединений на границе раздела фаз вода-воздух (см. табл. 2).

Таблица 2 – Адсорбционные характеристики сополимеров ОЭиОП и ЭДА, МЭГ и ТЭА.

№ образца	ОП:ОЭ, %:%	*M*	ККМ·10^3, моль·л$^{-1}$	Г·10^6, моль·м$^{-2}$	S_m·10^{17}, м^2	W_a, кДж·моль$^{-1}$
1	80:20	7000	0.1000	0.802	0.208	57.6
2	75:25	7000	0.1096	0.613	0.272	49.5
3	70:30	7000	7.9430	0.643	0.259	46.4
4	60:40	7000	9.1200	0.540	0.309	44.6
5	50:50	7000	11.4800	0.580	0.287	43.6
6	30:70	7000	50.1200	0.869	0.192	42.0
7	80:20	10000	0.3980	0.476	0.350	49.0
8	50:50	10000	10.0000	0.579	0.288	46.0
9	70:30	4500	13.8038	0.618	0.270	46.0
10	80:20	6000	0.6025	0.639	0.261	58.0
11	70:30	6000	0.7244	0.661	0.252	48.0
12	60:40	6000	0.8709	0.660	0.252	45.0
13	80:20	7000	0.1047	0.655	0.254	57.0
14	70:30	7000	0.2187	0.639	0.261	46.0
15	80:20	10000	0.0209	0.869	0.192	49.0
16	70:30	4200	0.0692	0.302	0.552	45.0
17	70:30	7500	8.7096	0.593	0.281	52.0
18	70:30	7500	0.4365	0.682	0.244	56.0

Примечание: *M* – средняя молекулярная масса; *ККМ* – критический коэффициент мицелообразования[1]; *Г* – адсорбция; S_m – посадочная площадка молекулы; W_a – работа адсорбции.

Наиболее эффективными деэмульгаторами являются образцы с массовым содержанием оксиэтильных групп в пределах 32-40%. При этом для границы воздух–вода явной *корреляции* между работой адсорбции и деэмульгирующей активностью не прослеживается [15], что, по нашему мнению, и должно быть. На границе жидкости с твердым телом определение вязкости вообще утрачивает смысл, т.к. $\mu \to \infty$. Гораздо более информативной усредненной характеристикой является *внутреннее межфазное натяжение*, представляющее собой, в первую очередь, результат взаимодействия внешних граничных слоев ассоциатов жидкофазных ингредиентов нефтесодержащих систем.

С физической точки зрения межфазное натяжение (σ) это характеристика *избытка количества движения* на поверхности жидкости (то же самое для поверхностных слоев ассоциатов), нескомпенсированное движением внутренних слоев жидкости, ассоциатов и т.д. (вплоть до молекул), равная по модулю работе (*A*) по компенсированию этого избытка.

Искривление формы поверхностного слоя жидкости (поверхностных слоев ассоциатов) в значительной мере определяет величину избытка движения. В свою очередь, величина избытка влияет на степень искривления. С учетом наноуровня априорный точный расчет характеристик этих взаимодействий *невозможен* и, следовательно, *не нужен*.

Топологически (схематично и приближенно) связь между *межфазным натяжением* и *вязкостью* можно отобразить следующим образом (рис. 1).

[1] Недостаточно корректно называемый в литературе константой.

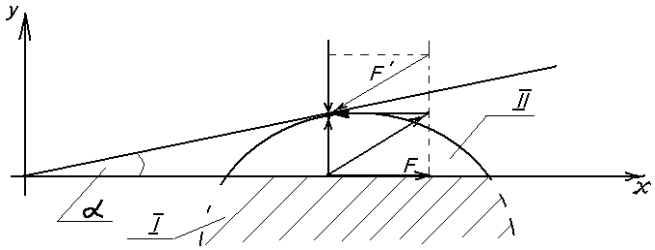


Рис. 1 – Топологическая иллюстрация связи μ и σ на поверхностном и предповерхностном слоях: I − внутренний слой; II − поверхностный слой; α − угол касательной; F, F' − силы, характеризующие соответственно величины вязкости и поверхностного натяжения; F представляет собой силу сдвига поверхностного слоя жидкости относительно ниженаходящегося.

В соответствии с вышеизложенным для элементарных объемов можно записать следующие выражение (4):

$$|\sigma| \approx |\mu| \cdot const\,, \tag{4}$$

где μ – динамическая вязкость.

Использование модульных значений вязкости и натяжения обусловлено тем, что первая характеризует усилие, необходимое для создания движения, а второе – для его компенсации.

Для проверки этого предположения осуществлена серия расчетов связи межфазного натяжения внутри жидкости с её внутренней вязкостью. Полученные данные свидетельствуют, что поверхностное (межфазное) натяжение, как и вязкость, хорошо описывается пространственно-волновым уравнением (2). Сверка расчетных и табличных данных подтверждает правомерность нашей исходной посылки о линейности связи между σ и μ (особенно для жидкофазного состояния углеводородов).

При разработке (или выборе) ПАВ необходимо, чтобы их *ассоциативность* и *нестехиометричность* были близки к таковым в нефтях и их эмульсиях.

Ассоциативность сложных жидкофазных (химических, физико-химических или физических) процессов предполагает наличие комплексов и конгломератов огромного числа молекул (10^{10}-10^{18}), взаимодействующих ингредиентами своих поверхностных слоев. В этом случае понятие молекул как *индивидуальных самостоятельных стехилметрических структурных единиц теряет смысл*. В частности, в нефтесодержащих системах, по нашему мнению, превалирующую роль во многих взаимодействиях оказывают комплексы нестехиометрических соединений, подобных постоянным фрагментам в полимерах, с различной степенью ассоциативности.

В соответствии с изложенным очень значимый вклад в различные физические и химические виды взаимодействия ингредиентов ассоциатов вносит поверхностный фактор.

Результаты специально проведенных исследований внешних и внутренних надмолекулярных структур методами ядерного магнитного резонанса и тепловизионных измерений приведены в Части II настоящей статьи.

Список литературы

1. *Иванов Б.Н.* Онтология теоретических основ химической технологии // Казань: КГТУ, 2006. – 72 с.
2. *Иванов Б.Н.* Волновые процессы и технологии добычи и подготовки нефти / Б.Н. Иванов, А.И. Гурьянов, А.М. Гумеров // АН РТ, Казань: ФЭН, 2009. – 400 с.
3. *Иванов Б.Н.* Качественный подход к оценке реакционной способности материальных образований. Сообщение 3 // Применение принципа масштабирования. — М.: ВИНИТИ. — 1987. — № 2336-В87.
4. *Иванов Б.Н.* К вопросу об энерго-аналитической оценке процессов нефтепереработки / Б.Н. Иванов // Интенсификация химических процессов переработки нефтяных компонентов: Межвуз. сб. науч. тр. — Казань, 1991. — С. 74-79.
5. *Иванов Б.Н.* Исследование ассоциативной природы сложных жидкофазных органических систем тепловизионными методами / Иванов Б.Н. [и др.] // Вестник КТУ. — 2007. — № 3-4. — С. 135-142.
6. *Древницкая Е.Л.* Предупреждение парафиновых и солевых отложений и математическая характеристика их взаимосвязи в процессах добычи и подготовки нефти / Е.Л. Древницкая [и др.] // V Всероссийская научно-практическая конференция «Нефтепромысловая химия», посвященная 50-летию кафедры ТХВ для нефтяной и газовой промышленности РГУ нефти и газа им. И.М.Губкина. – М., 2010.
7. *Гиматудинов Ш.К.* Физика нефтяного и газового пласта: Учебник для вузов / Ш.К. Гиматудинов, А.И. Ширховский. – М.: Недра, 1982. – 311 с.
8. *Иванов Б.Н.* Ассоциативность как причина и характеристика возможности получения композиционных топлив из возобновляемых и нефтяных ресурсов / Б.Н. Иванов // Труды VI Международного Симпозиума «Ресурсоэффективность и энергосбережение». — Казань: Изд-во КГУ, 2006. — С. 525-529.
9. *Иванов Б.Н.* В. К вопросу о характеристиках ассоциативности сложных жидкофазных систем и их математическом отображении. Часть 1 / Б.Н. Иванов, Р.Н. Костромин, А.В. Дацков // Вестник КТУ, 2006. — № 1. — С. 217-222.
10. *Барская Е.Е.* Влияние длительного заводнения на состав и свойства нефтей девонских отложений / Е.Е. Барская // Дисс. на соиск. уч. степени канд. техн. наук. – Казань: ИОФХ КазНЦ РАН, 2006. – 158 с.
11. *Иванов Б.Н.* Общий базис процессов и средств стимуляции добычи и подготовки нефти / Б.Н.Иванов, Н.А.Лебедев, Е.Л.Древницкая // Нефтепереработка и нефтехимия, 2008. – №11. – С. 8-13.
12. *Иванов Б.Н.* Универсально характеристическое уравнение нефтесодержащих систем. Некоторые аспекты практического приложения / Б.Н.Иванов, Е.Л.Древницкая, Р.Н.Костромин // Энергетика Татарстана, 2012. – Вып. 3. – С. 64-69.
13. *Романов Г.В.* Оценка влияния заводнения пластов на состав и свойства нефтей / Г.В. Романов [и др.] // Проблемы экологической химии Республики Татарстан. — Казань: Экоцентр, 1998. — С. 88-130.
14. *Юсупова Т.Н.* Структурно-групповой состав асфальтенов как показатель физико-химических процессов в продуктивных нефтяных пластах / Т.Н. Юсупова [и др.] // Нефтехимия, 2005. – Т. 45. – № 6. – С. 411-416.
15. *Солодов В.А.* Деэмульгаторы на основе сорбита и их поверхностно-активные свойства / В.А. Солодов [и др.] // Журнал прикладной химии, 2005. – т.78. – Вып.6. – С.966-971.

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

01.04.17

А.А. Валеев

Камышинский технологический институт
(филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего профессионального образования
«Волгоградский государственный технический университет»,
г. Камышин, waleev@mail.ru

ВЛИЯНИЕ ИНДУЦИРОВАННОЙ ФЛУКТУАЦИЯМИ ПЛОТНОСТИ УПРУГОЙ ДЕФАЗИРОВКИ НА ОТКЛИК КАРС В СИСТЕМЕ СФЕРИЧЕСКИ СИММЕТРИЧНО ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ ЧАСТИЦ ФЛЮИДА ВБЛИЗИ КРИТИЧЕСКОЙ ТОЧКИ

Данная работа посвящена исследованию влияния упругой дефазировки на отклик КАРС комбинационно активного перехода в системе сферически симметрично взаимодействующих частиц флюида вблизи критической точки. Получено улучшенное выражение для упруго дефазированного отклика в схемах нестационарной и стационарной КАРС.

Ключевые слова: *критические явления, КАРС, спектральная ширина, дефазировка.*

I. ВВЕДЕНИЕ

Рассеяние света уверенно зарекомендовало себя как инструмент для исследования флуктуаций плотности флюидов и их динамики вблизи критической точки фазового перехода газ-жидкость. В последнее время несколько научных коллективов осуществили измерения ширины комбинационно активных переходов различных сред в ее окрестности [1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11]. Публикации, посвященные теоретическому исследованию влияния дефазировки на спектральную ширину, зачастую не содержат выводов формул и содержат ошибки, которые, в связи с этим, трудно обнаружить. Попытки использования таких формул могут привести к дальнейшим ошибочным результатам. Данная работа посвящена исследованию проявлений упругой дефазировки в рассеянии света, на примере КАРС, с помощью модели, изложенной в [12] и примененной в [13] для оценки критического вклада в спектральную ширину колебательных полос нескольких флюидов.

II. ДЕФАЗИРОВКА

Рассмотрим модель нестационарной нерезонансной КАРС-спектроскопии. В среду одновременно (в момент времени $t = 0$) заходят два импульса накачки длиной несколько пикосекунд, разделенных (по несущей) частотой комбинационно активного перехода, с помощью которых между нижележащим, $|1>$, и вышележащим, $|2>$, состояниями частицы создается когерентность $\rho_{12}^m \neq 0$, где ρ_{12}^m — недиагональный элемент матрицы плотности частицы номер m,

$$\rho^m = \begin{pmatrix} \rho_{11}^m & \rho_{12}^m \\ \rho_{21}^m & \rho_{22}^m \end{pmatrix}. \quad (1)$$

При этом считается, что спектральные свойства импульса таковы, что когерентность между другими состояниями не возбуждается. После этого, с некоторой задержкой, в среду

запускается пробный импульс, длительность которого определяет временное разрешение спектроскопии, претерпевающий комбинационное рассеяние на волне наведенных когерентностей между состояниями частиц. Интенсивность антистоксовой или стоксовой рассеянной волны (как функция времени задержки) формирует профиль спектрального отклика нестационарной КАРС.

Полный спектральный отклик формируется под влиянием следующих факторов: эффекта Доплера, вращательно-колебательного взаимодействия, ориентационно-колебательного взаимодействия, неупругой передачи энергии, упругой дефазировки и пр. В отдельных случаях (например, в случае Q-полосы) упругая дефазировка при плотностях, близких к ρ_c, обусловлена преимущественно флуктуациями плотности. Такому случаю и будет уделено внимание данной статьи.

Для расчета упругой дефазировки флюид представляется в виде N двухуровневых частиц, взаимодействующих сферически симметричными взаимодействиями. Мы обозначим взаимодействие двух частиц в состоянии $|1>$ с помощью $V_1(R)$, а одной частицы в состоянии $|1>$ и другой — в состоянии $|2>$ с помощью $V_2(R)$; тогда взаимодействие, ответственное за уширение спектра, можно записать в виде

$$U \equiv V_2(R) - V_1(R) - \langle V_2(R) - V_1(R) \rangle . \qquad (2)$$

Здесь и далее будем считать энергию заданной в единицах циклической частоты, скобки $\langle ... \rangle$ — усреднением по ансамблю когерентных частиц (с учетом времени запаздывания, равного z/v, где v — фазовая скорость), R — расстоянием между частицами. В этом выражении сделано допущение, что состояние частицы не влияет на ее траекторию. Также здесь вычтена средняя часть разности межмолекулярных взаимодействий $\langle V_2(R) - V_1(R) \rangle$, которая не вносит вклад в форму спектра и считается величиной постоянной во времени и пространстве. Форма КАРС-отклика данной системы во временно́м представлении может быть представлена как

$$I(t) \sim |\rho_{12}(t)|^2, \qquad (3)$$

где $\rho_{12}(t) = <\rho_{12}{}^m> = \frac{1}{M}\sum_{m=1}^{M} \rho_{12}{}^m \left(t - \frac{z_m}{v} \right)$ — так называемая волна когерентности, M — число частиц в объеме среды, принимающих участие в спектроскопии.

Для вывода данной формулы было использовано уравнение (6) из [14], полученное в условиях плосковолнового приближения, за рамки которого не будем выходить и мы:

$$A_j(t,z) = A_0(t - \frac{z}{u}, 0) J_j(2|\xi| \frac{z}{u}) \exp[i(j \arg \xi + \frac{\psi z}{u})] .$$

Здесь использованы обозначения [14]. В условиях, когда $|\xi| \frac{z}{u} \ll 1$, $A_{\pm 1}(t,z) \sim J_{\pm 1}(2|\xi| \frac{z}{u}) \sim \rho_{12}$.

В промежутке времени между накачкой и пробным импульсом гамильтониан молекулы можно представить в следующем виде:

$$H = \begin{pmatrix} H_0 + V_1 & 0 \\ 0 & H_0 + V_2 \end{pmatrix}. \qquad (4)$$

Гамильтониан содержит член H_0, содержащий поступательную кинетическую энергию, которая одинакова для обоих состояний частицы вследствие предположения о независимости траектории частицы от внутреннего состояния.

Согласно уравнению фон Неймана,

$$\frac{d\rho^m}{dt} = -i[H, \rho^m] = -i \begin{pmatrix} 0 & \rho_{12}^m (V_1 - V_2) \\ \rho_{21}^m (V_2 - V_1) & 0 \end{pmatrix}, \qquad (5)$$

член ρ_{12}^{m} осциллирует с частотой $V_2 - V_1$ перехода между состояниями $|1>$ и $|2>$. Таким образом, в рамках модели, уширение происходит за счет столкновительной модуляции частоты между состояниями. С помощью (2) выделим из ρ_{12}^{m} множитель, ответственный за эту осцилляцию: $\rho_{12}^{m}(t) = \rho_{12}^{0,m}(t)\exp\left[i\langle V_2(R) - V_1(R)\rangle t\right]$. Тогда множитель $\rho_{12}^{0,m}(t)$ имеет вид

$$\rho_{12}^{0,m}(t) = \rho_{12}^{0,m}(0)\exp i\int_0^t U(x)dx \tag{6}$$

и его можно назвать комплексной амплитудой волны когерентности. Усредним обе части по ансамблю когерентных частиц.

$$\rho_{12}^{0}(t) =< \rho_{12}^{0,m}(0)\exp i\int_0^t U(x)dx >$$

где $\rho_{12}^{0}(t) =< \rho_{12}^{0,m} >= \dfrac{1}{M}\sum_{m=1}^{M}\rho_{12}^{0,m}\left(t - \dfrac{z_m}{v}\right)$.

Согласно принятому допущению, состояние частицы в начальный момент времени не влияет на ее дальнейшую траекторию и наоборот (последнее следует из принципа причинности), поэтому можно записать:

$$\rho_{12}^{0}(t) = \rho_{12}^{0}(0) < \exp i\int_0^t U(x)dx > . \tag{7}$$

Разложим экспоненту в ряд Тейлора

$$\exp i\int_0^t U(x)dx = 1 + i\int_0^t U(x)dx - \left(\int_0^t U(x)dx\right)^2 / 2 -$$

$$i\left(\int_0^t U(x)dx\right)^3 / 6 + \left(\int_0^t U(x)dx\right)^4 / 24 + ...,$$

и усредним обе части по ансамблю частиц,

$$< \exp i\int_0^t U(x)dx >= 1 + i\int_0^t < U(x) > dx - \left\langle\left(\int_0^t U(x)dx\right)^2\right\rangle / 2 -$$

$$i\left\langle\left(\int_0^t U(x)dx\right)^3\right\rangle / 6 + \left\langle\left(\int_0^t U(x)dx\right)^4\right\rangle / 24 + ...$$

Принимая во внимание, что $\langle U\rangle$=0, полученное выражение можно приравнять к

$$\exp\left[-\left\langle\left(\int_0^t U(x)dx\right)^2\right\rangle / 2 - i\left\langle\left(\int_0^t U(x)dx\right)^3\right\rangle / 6 +\right.$$

$$\left.\left\langle\left(\int_0^t U(x)dx\right)^4\right\rangle / 24 - \left(\left\langle\left(\int_0^t U(x)dx\right)^2\right\rangle\right)^2 / 8 + ...\right].$$

Последние два слагаемых аргумента экспоненты, умноженные на 24, образуют так называемое кумулянтное среднее (cumulant average [15]), которое мы обозначим $\langle\langle ...\rangle\rangle$:

$$\left\langle\left\langle\left(\int_0^t U(x)dx\right)^4\right\rangle\right\rangle = \left\langle\left(\int_0^t U(x)dx\right)^4\right\rangle - 3\left(\left\langle\left(\int_0^t U(x)dx\right)^2\right\rangle\right)^2 .$$

Также как и авторы [12], ограничимся только одним, младшим значимым, слагаемым. Получим:

$$\rho_{12}^0(t) = \rho_{12}^0(0)\exp\left[-\left\langle\left(\int_0^t U(x)dx\right)^2\right\rangle/2\right] = \rho_{12}^0(0)\exp(-\varphi(t)), \quad (8)$$

где функция $\varphi(t)$ совпадает с одноименной функцией, определяемой уравнением (2) в [12].

Так же как в уравнениях (4a) и (4b), определим операторы, характеризующие распределение частиц термостата $N_{\mathbf{k}} = \sum_\alpha \exp(i\mathbf{k}\cdot\mathbf{R}_\alpha)$ и выделенной частицы $\hat{N}_{\mathbf{k}} = \exp(i\mathbf{k}\cdot\mathbf{R}_S)$ в пространстве волновых векторов и оператор $U_{\mathbf{k}} = \int_\Omega U(\mathbf{r})\exp(i\mathbf{k}\cdot\mathbf{r})d\Omega$, где Ω — объем флюида, имеющий форму прямоугольного параллелепипеда, $\mathbf{R}_\alpha, \mathbf{R}_S$ — радиус-векторы частицы термостата и выделенной частицы, соответственно. Отсюда найдем потенциал U выделенной частицы, обусловленный взаимодействием со всеми другими частицами:

$$U = \sum_\alpha U(R_\alpha - R_S) = \frac{1}{\Omega}\sum_\alpha\sum_{\mathbf{k}} U_{\mathbf{k}}\exp(-i\mathbf{k}\cdot(\mathbf{R}_\alpha - \mathbf{R}_S)) =$$

$$\frac{1}{\Omega}\sum_\alpha\sum_{\mathbf{k}} U_{\mathbf{k}}\exp(-i\mathbf{k}\cdot\mathbf{R}_\alpha)\exp(i\mathbf{k}\cdot\mathbf{R}_S) = \frac{1}{\Omega}\sum_{\mathbf{k}} U_{\mathbf{k}} N_{-\mathbf{k}}\hat{N}_{\mathbf{k}}.$$

Здесь суммирование предполагается по ортогональным гармоникам объема флюида.

В принятых обозначениях получим:

$$<U(\tau)U(0)>=$$
$$\frac{1}{\Omega^2}\sum_{\mathbf{k},\mathbf{k}'} U_{\mathbf{k}}U_{\mathbf{k}'}[<N_{\mathbf{k}}(\tau)\hat{N}_{-\mathbf{k}}(\tau)N_{\mathbf{k}'}(0)\hat{N}_{-\mathbf{k}'}(0)> - <N_{\mathbf{k}}(0)\hat{N}_{-\mathbf{k}}(0)><N_{\mathbf{k}'}(0)\hat{N}_{-\mathbf{k}'}(0)>]. \quad (9).$$

Второе слагаемое в (9) можно представить как $(<U(0)>)^2 = 0$ и оно добавлено для удобства. Корреляционную функцию $<N_{\mathbf{k}}(\tau)\hat{N}_{-\mathbf{k}}(\tau)N_{\mathbf{k}'}(0)\hat{N}_{-\mathbf{k}'}(0)>$ можно выразить [15] через корреляционные функции меньшего порядка и кумулянтное среднее:

$$<N_{\mathbf{k}}(\tau)\hat{N}_{-\mathbf{k}}(\tau)N_{\mathbf{k}'}(0)\hat{N}_{-\mathbf{k}'}(0)>=<N_{\mathbf{k}}(0)\hat{N}_{-\mathbf{k}}(0)><N_{\mathbf{k}'}(0)\hat{N}_{-\mathbf{k}'}(0)>+$$
$$<N_{\mathbf{k}}(\tau)N_{\mathbf{k}'}(0)><\hat{N}_{-\mathbf{k}}(\tau)\hat{N}_{-\mathbf{k}'}(0)>+<N_{\mathbf{k}}(\tau)\hat{N}_{-\mathbf{k}'}(0)><\hat{N}_{-\mathbf{k}}(\tau)N_{\mathbf{k}'}(0)>+$$
$$<<N_{\mathbf{k}}(\tau)\hat{N}_{-\mathbf{k}}(\tau)N_{\mathbf{k}'}(0)\hat{N}_{-\mathbf{k}'}(0)>>.$$

Ортогональные гармоники не коррелируют, поэтому отличны от нуля только те члены, где $\mathbf{k}' = -\mathbf{k}$. Первое слагаемое равно нулю, и, как показано в работе [12], относительный вклад третьего слагаемого по сравнению с вкладом второго можно записать как $O(1/\Omega)$, а четвертого по сравнению с вкладом второго — как отношение среднего межатомного расстояния к корреляционной длине. Пренебрегая этими слагаемыми и следуя дальнейшим рассуждениям авторов статьи [12], получим аналог уравнения (6), который примет вид:

$$<U(\tau)U(0)>=\frac{U_0^2}{\Omega^2}\sum_{\mathbf{k}}<N_{\mathbf{k}}(\tau)N_{-\mathbf{k}}(0)><\hat{N}_{-\mathbf{k}}(\tau)\hat{N}_{\mathbf{k}}(0)> \quad (10).$$

Используя это уравнение, а также уравнения (7a), (7b), (8) из [12], запишем:

$$<U(\tau)U(0)>=\frac{U_0^2}{\Omega^2}\sum_{\mathbf{k}}\exp(-D_s k^2\tau)\exp(-D_T k^2\tau)\times$$
$$\Omega n\frac{\kappa_T}{\kappa_T^0}\frac{(1+\Psi^2k^2/\kappa^2)^{\eta/2}}{1+(1+\Psi^2\eta/2)k^2/\kappa^2}.$$

Здесь все обозначения взяты из [12], $k \equiv |\mathbf{k}|$. Шаг по $\mathbf{k}$ определяется из условия $\Delta\mathbf{k}_j L_j = 2\pi$, где прямоугольный параллелепипед считается ориентированным вдоль осей,

L_j — его длина вдоль оси j. Считая объем достаточно большим, чтобы шаг по $\mathbf{k}$ был значительно меньше масштабов изменения суммируемого выражения, перейдем от суммирования к интегрированию с весом $1/(\Delta\mathbf{k}_1\Delta\mathbf{k}_2\Delta\mathbf{k}_3) = L_1L_2L_3/(2\pi)^3 = \Omega/(2\pi)^3$, используя соотношение $d\mathbf{k}_1 d\mathbf{k}_2 d\mathbf{k}_3 = dk4\pi k^2$:

$$<U(\tau)U(0)>=\frac{U_0^2}{\Omega^2}\int_0^{k_{\max}}(dk4\pi k^2)\frac{\Omega}{(2\pi)^3}\exp(-(D_s+D_T)k^2\tau)\times$$

$$\Omega n\frac{\kappa_T}{\kappa_T^0}\frac{(1+\Psi^2k^2/\kappa^2)^{\eta/2}}{1+(1+\Psi^2\eta/2)k^2/\kappa^2}.$$

Обозначив $\Gamma = D_s + D_T$ и сократив Ω, получим:

$$<U(\tau)U(0)>=\frac{U_0^2 n\kappa_T}{2\pi^2\kappa_T^0}\int_0^{k_{\max}}dkk^2\exp(-(\Gamma k^2\tau))\frac{(1+\Psi^2k^2/\kappa^2)^{\eta/2}}{1+(1+\Psi^2\eta/2)k^2/\kappa^2}.$$

Отсюда, исходя из уравнения (2) в [12], получим:

$$\varphi(\tau)=\frac{U_0^2 n\kappa_T}{2\pi^2\kappa_T^0}\int_0^{k_{\max}}dkk^2\int_0^{\tau}d\tau_1(\tau-\tau_1)\exp(-(\Gamma k^2\tau_1))\frac{(1+\Psi^2k^2/\kappa^2)^{\eta/2}}{1+(1+\Psi^2\eta/2)k^2/\kappa^2}.$$

Рассчитаем внутренний интеграл по τ:

$$\int_0^{\tau}d\tau_1(\tau-\tau_1)\exp(-(\Gamma k^2\tau_1))=\frac{\Gamma k^2\tau-1+\exp(-(\Gamma k^2\tau))}{(\Gamma k^2)^2}.$$

Получим следующее выражение:

$$\varphi(\tau)=\frac{U_0^2 n\kappa_T}{2\pi^2\kappa_T^0}\int_0^{k_{\max}}dk\frac{\Gamma k^2\tau-1+\exp(-(\Gamma k^2\tau))}{\Gamma^2k^2}\frac{(1+\Psi^2k^2/\kappa^2)^{\eta/2}}{1+(1+\Psi^2\eta/2)k^2/\kappa^2}.$$

Произведя подстановку $x=\kappa^2\Gamma\tau, y=k^2\Gamma\tau, y_0=k_{\max}^2\Gamma\tau$, получим:

$$\varphi(\tau)=\frac{U_0^2 n\kappa_T\tau^{1/2}}{4\pi^2\kappa_T^0\Gamma^{3/2}}\int_0^{y_0}dy\frac{(1+\Psi^2y/x)^{\eta/2}}{1+(1+\Psi^2\eta/2)y/x}\frac{y-1+\exp(-y)}{y^{3/2}},$$

$$\varphi(x)=\frac{U_0^2 n\kappa_T x^{1/2}}{4\pi^2\kappa_T^0\kappa\Gamma^2}\int_0^{y_0}dy\frac{(1+\Psi^2y/x)^{\eta/2}}{1+(1+\Psi^2\eta/2)y/x}\frac{y-1+\exp(-y)}{y^{3/2}} \quad (11).$$

Полученное уравнение (11) является исправленным уравнением (9а) в [12]. Также следует отметить, что здесь исправлено выражение для y_0.

С учетом дефазировки за счет других факторов, которую мы обозначим $\varphi_+(\tau)$, интенсивность КАРС-сигнала примет вид:

$$I(\tau)\sim|\rho_{12}(\tau)|^2=|\rho_{12}^0(\tau)|^2\sim\exp[-2(\varphi_+(\tau)+\varphi(\tau))], \quad (12)$$

в спектральном представлении для стационарной КАРС:

$$I(\Delta)\sim\left|\int_0^{\infty}\exp(i\Delta\tau-\varphi_+(\tau)-\varphi(\tau))d\tau\right|^2, \quad (13)$$

где Δ — сдвиг частоты относительно $\langle V_2(R)-V_1(R)\rangle$.

Следует отметить, что параметры Ψ и η, представленные в [12], могут быть в значительной степени уточнены.

Представим (8) в [12] в виде $S(k)=S(0)/g((k/\kappa)^2)$,

где $g(y)=\dfrac{1+(1+\Psi^2\eta/2)y}{(1+\Psi^2y)^{\eta/2}}$.

Разложим $g(y)$ в ряд по y, ограничившись членами до второго порядка включительно:

$$g(y) = (1+\Psi^2 y)^{-\eta/2}(1+(1+\Psi^2\eta/2)y) = 1 + y - \Psi^2\frac{\eta}{2}y^2 + \frac{\eta}{4}\left(1-\frac{\eta}{2}\right)\Psi^4 y^2 + \ldots$$

Сравнивая полученное выражение с уравнением (110) (коэффициенты которого указаны в таблице IX) из [16] и приравнивая коэффициенты второго порядка получим уравнение:

$$\frac{\eta}{4}\left(1-\frac{\eta}{2}\right)\Psi^4 - \Psi^2\frac{\eta}{2} = -0.390\cdot 10^{-3}.$$

Обновленное значение параметра η = 0.03639 возьмем из [17].

Решив уравнение, получим Ψ = 0.1472.

Оценим роль параметра Ψ в формировании КАРС-сигнала. Для этого в интеграле, входящем в (11), произведем замену верхнего предела интегрирования на ∞:

$$I(x,\Psi^2) = \int_0^\infty dy \frac{(1+\Psi^2 y/x)^{\eta/2}}{1+(1+\Psi^2\eta/2)y/x}\frac{y-1+\exp(-y)}{y^{3/2}}.$$

Сравним полученный интеграл по результатам данной работы и работы [12], соответственно построив график (рис. 1) функции $Z = [I(x,\Psi) - I(x,\Psi^2)]/I(x,\Psi^2)$ (используя параметры Ψ и η, полученные в данной работе). Видно, что максимальное отклонение $\varphi(\tau)$ не превышает 4%.

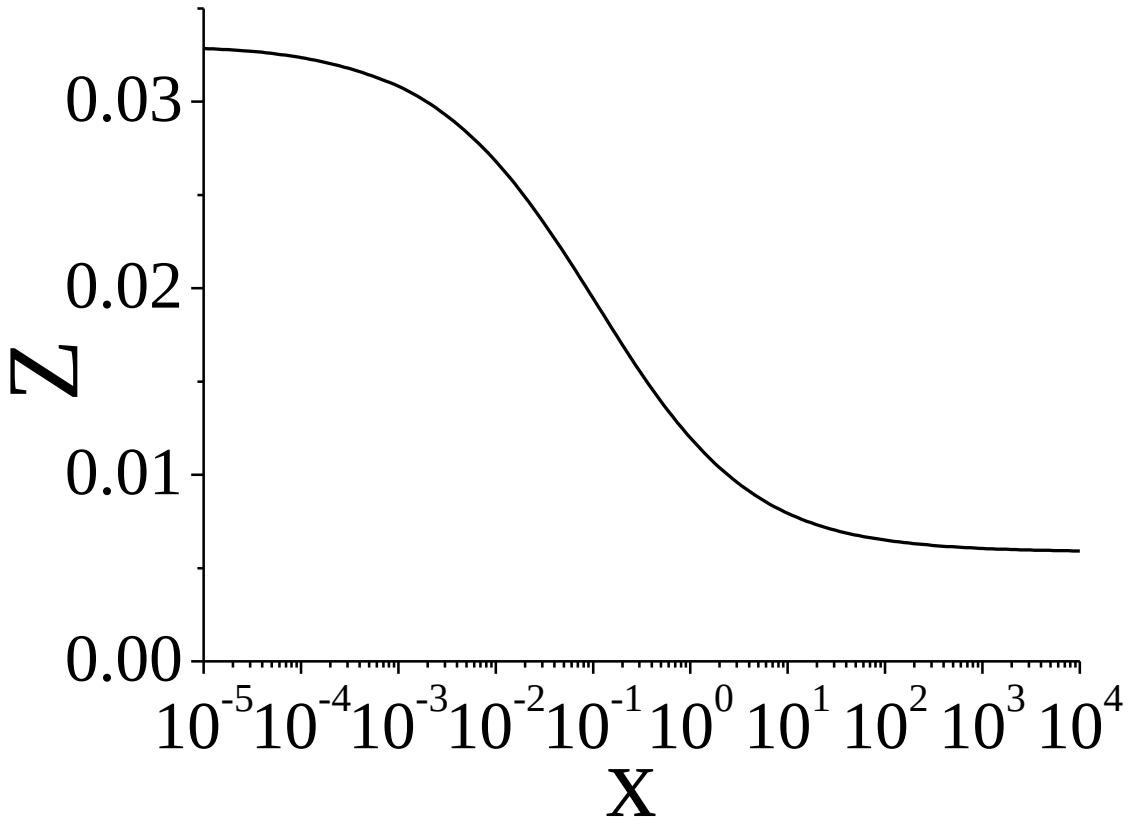


Рис. 1— Относительное отклонение $\varphi(\tau)$ работы [12] от $\varphi(\tau)$ данной работы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследования влияния упругой дефазировки на отклик КАРС комбинационно активного перехода в системе сферически симметрично взаимодействующих частиц флюида вблизи критической точки последовательно получено выражение для упруго дефазированного отклика в схемах нестационарной и стационарной КАРС, уточняющее и улучшающее результаты работы [12], на материалах которой, в значительной степени, и основано настоящее исследование.

Список литературы

1. Arakcheev V.G., Bagratashvili V.N., Valeev A.A., Gordiyenko V.M., Kireev V.V., Morozov V.B., Olenin A.N., Popov V.K., Tunkin V.G., Yakovlev D.V. J. Raman Spectrosc., **34**, 952 (2003).
2. Аракчеев В.Г., Баграташвили В.Н., Валеев А.А., Гордиенко В.М., Киреев В.В., Морозов В.Б., Оленин А.Н., Попов В.К., Тункин В.Г., Яковлев Д.В. Квантовая электроника, **34**, 86 (2004).
3. Nakayama H., Saitow K., Sakashita M., Ishii K., Nishikawa K. Chem. Phys. Lett., **320**, 323 (2000).
4. Musso M., Asenbaum A., Keutel D., Seifert F., Oehme K.-L. Phys. Rev. Lett., **77**, 2746 (1996).
5. Wood K.A., Strauss L. J. Chem. Phys., **78**, 3455 (1983).
6. Saitow K., Nakayama H., Ishii K., Nishikawa K. J. Phys. Chem. A, **108**, 5770 (2004).
7. Clouter M.J., Kiefte H., Ali N. Phys. Rev. Lett., **40**, 1170 (1978).
8. Clouter M.J., Kiefte H. Phys. Rev. Lett., **52**, 763 (1984).
9. Clouter M.J., Kiefte H., Deacon. C.G. Phys. Rev. A., **33**, 2749 (1986).
10. Musso M., Matthai F., Keutel D., Oehme K.-L. J. Chem. Phys., **116**, 8015 (2002).
11. Staniaszek P., Clouter M.J., Kiefte H. Can. J. Phys., **66**, 358 (1988).
12. Mukamel S., Stern P.S., Ronis D. Phys. Rev. Lett., **50**, 590 (1983).
13. Strauss H.L., Mukamel S. J. Chem. Phys., **80**, 6328 (1984).
14. Андреев А.В., Валеев А.А., Морозов В.Б., Оленин А.Н., Тункин В.Г. Квантовая электроника, **32**, 54 (2002).
15. Kubo R. J. Phys. Soc. Jap., **17**, 1100 (1962).
16. Campostrini M., Pelissetto A., Rossi P., Vicari E. Phys. Rev. E, **65**, 066127 (2002).
17. Pelissetto A., Vicary E. Physics reports, **368** 549 (2002).

01.01.06

В.В. Дружинин, А.Г. Ломтев, А.Г. Сироткина

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

МЕТОД БЫСТРОЙ ФАКТОРИЗАЦИИ ЧИСЕЛ

Предложен метод факторизации чисел, основанный на разбиении числовой оси на «этажи», использовании детерминантного признака делимости и выделении односвязного массива составных чисел. При этом на бытовом компьютере удается факторизовать произвольные числа до 700-1000 порядков. Дана таблица первых простых чисел первых 2000 этажей.

Ключевые слова: *факторизация, признаки деления, массив составных чисел.*

1. Под факторизацией натурального числа N понимается его каноническое разложение, т. е. представление числа в виде произведения степеней простых чисел. При больших числах N – выше 300-400 порядков (цифр) эта задача в общем виде численно не решается даже при наличии самых современных суперэвм. В интернете годами «висят» такие числа. Стандартный подход состоит в проверке делимости N на все простые числа $p_k \leq \sqrt{N}$. Именно этот перебор тормозит получение результата. Существуют различные алгоритмы – Ферма, Полларда, Вильямса, Шенкса и другие [1]. Между тем актуальность этой задачи, в частности, состоит в том, что криптография и секретные коды часто основаны именно на факторизации, которая известна только пользователям[2].

Мы предлагаем новый метод факторизации, основанный на следующих «трёх китах». (а) Запись нечетного натурального числа даем в виде $N = 2^n \cdot m \pm 1$. (б) Используем детерминантный признак делимости (ДПД), предложенный Дружининым [3] и развитый в [4]. (в) Учитываем эмпирическую зависимость первого простого числа на n-этаже от n и от слабо меняющегося параметра $\xi_n = (1{,}3 \div 1{,}43)$, найденную Дружининым [3] и количественно подтвержденую в [4].

2. Разобьём всё множество нечетных чисел на арифметические прогрессии вида $N(\pm n, m) = 2^n \cdot m \pm 1$. При знаке «+»(«–») число n – назовем номером положительного (отрицательного) этажа. m – индекс, указывает положение N-числа на $\pm$n-этаже. Этим мы переводим числовую ось натуральных чисел в двумерное пространство. Ось абсцисс – числа m, ось ординат – числа n. Определить принадлежность N к тройке $(\pm n, m)$ легко по виду числа. Если $(N \mp 1)/2^n \in \mathbb{N}$, где n наибольшее число, то N принадлежит $\pm n$ этажу. После этого находим m, которое в этом случае нечетно. Между N и $(\pm n, m)$имеется взаимно однозначное соответствие.

Например, число 139263 = 139264−1 =$2^{13} \cdot 17 - 1$ принадлежит (-13) этажу с индексом m = 17. Ясно, что все числа высших этажей находятся на втором этаже $2^2 \cdot m \pm 1$, имея при этом четные индексы. Иногда мы будем записывать $2^n \cdot m \pm 1 = 2^{n-1} \cdot (2m) \pm 1 = 2^{n-2} \cdot (4m) \pm 1 = 2^{n-k} \cdot (2^k m) \pm 1$.

Деление на положительные и отрицательные этажи, как еще было найдено Ферма, дает разную внутреннюю структуру простых чисел. Все простые числа (+2) этажа $p = 4m + 1 = a^2 + b^2$, если a и b числа разной четности, взаимно простые, дают однозначный результат, т.е. $a^2 + b^2 \neq a_1^2 + b_1^2$ и$\sqrt{a^2 + b^2}$ число иррациональное. Все простые числа (-2) этажа $p = 4m - 1 = a^2 - (-1)^m 2b^2$, если a и b числа нечетные, взаимно простые и дают однозначный результат. Примеры для $(+n)$. 1)a = 2, b = 1, p = 5= $4 \cdot 1 + 1$. 2) a = 8, b = 1, N = 65 = $4^2 + 7^2$= $8^2 + 1^2$ - нарушена однозначность, поэтому число n составное. Примеры

для $(-n)$. 1) a = 1, b = 1, p =$1^2 + 2 \cdot 1^2 = 3,\ m = 1$. 2) a = 3, b = 1, p= $3^2 + 2 \cdot\ 1^2 = 11$, m = 3. 3) a = 3, b = 1, p = $3^2 - 2 \cdot 1^2 = 7$, m = 2. 4) a = 5, b = 1, p = $5^2 + 2 \cdot 1^2 = 27 = 3^2 + 2 \cdot 3^2$ - нарушена взаимная простота a и b и однозначность. Поэтому число N = 27 составное.

Заметим такую особенность для нечетных этажей. $a^2 + 2b^2$дает простые числа вида p = 4m– 1 с нечетными m, т. е. числа только второго отрицательного этажа. $a^2 - 2b^2$ дает простые числа вида p = 8m– 1 с нечетными и четными m, т.е. числа только высших отрицательных этажей.

Рассматривая числа $(\pm\, n, m)$ с фиксированным n, т.е. в пределах одного этажа, при росте m, мы рано или поздно обнаруживаем первое простое число p$(\pm n, m, 1)$. Если $m = 2m_2$, то это простое число переходит на $\pm(n+1)$ этаж с индексом m_2. Получается, что несколько этажей могут иметь одно то же первое простое число. Например, p = 17 = $2^3 \cdot 2 + 1 = 2^4 \cdot 1 + 1$. Если этого нет, то p$(\pm\,(n+1), m, 1) >$ p$(\pm n, m^/, 1)$ и $m^/ > m/2$. Например, p$(+5, 3,1)$ = 97 – первое простое число на +5- этаже, а на предыдущем +4- этаже первое простое число p$(+4,1,1) = 17$. Таким образом, граница, отделяющая составные и простые числа с ростом этажа удаляется от его начала.

3. Создадим аналог решета Эратосфена на $\pm n$- этаже. В общем случае, если надо узнать делимость $N = 2^n \cdot m \pm 1$ на $p = 2^t \cdot a + b$, то надо представить $n = t \cdot n_1 + r$ (r - остаток при делении n на t) и записать детерминант по теории ДПД [3, 4]

$$D(N,p) = \begin{vmatrix} 2^r \cdot m & \pm 1 \\ (-1)^{1+n_1} \cdot a^{n_1} & b^{n_1} \end{vmatrix} = 2^r \cdot m \cdot b^{n_1} \pm (-1)^{n_1} \cdot a^{n_1}. \qquad (1)$$

Если $D(N,p) \vdots\, p$, в том числе и $D(N,p) = 0$, то и $N \vdots\, p$.

Начнем с p =3. Тут t = 1, a = 1, b = 1, r = 0, $D(N,3) = m \pm (-1)^n$. Отсюда следует, что при $m = -1 + 3k, k \in \mathbb{N}$ (тут и далее) для четных +n и нечетных – n этажах числа N кратны «3». Также при $m = -2 + 3k$ для четных - n и нечетных +n этажах числа N кратны «3».

$D(N,5) \;=\; 2^r m \pm 1$, где $n = 4 \cdot n_1 + r,\ r = 0; 1; 2; 3.$

$D(N,7) \;=\; 2^r m \pm 1$, где $n = 3 \cdot n_1 + r,\ r = 0; 1; 2.$

$D(N,11) = 2^r \cdot 3^{n_1} m \pm (-1)^{n_1}$, где $n = 3 \cdot n_1 + r,\ r = 0; 1; 2.$

$D(N,13) = 2^r \cdot m \cdot 3^{n_1} \pm 1$, где $n = 4 \cdot n_1 + r,\ r = 0; 1; 2; 3.$

$D(N,17) = 2^r \cdot m \pm (-1)^{n_1}$, где $n = 4 \cdot n_1 + r,\ r = 0; 1; 2; 3.$

$D(N,19) = 2^r \cdot m \cdot 3^{n_1} \pm (-1)^{n_1}$, где $n = 4 \cdot n_1 + r,\ r = 0; 1; 2; 3.$

$D(N,23) = 2^r \cdot m \cdot 7^{n_1} \pm (-1)^{n_1}$, где $n = 4 \cdot n_1 + r,\ r = 0; 1; 2; 3.$

$D(N,29) = 2^r \cdot m \cdot 3^{n_1} \pm 1$, где $n = 5 \cdot n_1 + r, r = 0; 1; 2; 3; 4.$

Знаки $\pm$ относятся к $\pm n$ этажам.

Например, выделим все m, дающие N кратные «17» на +5 – этаже: $n_1 = 1,\ r = 1,$ $D(N,17) = 2m - 1$. При m = 9 + 17k все $N = (2^5 \cdot m + 1) \vdots\, 17$.

По (1) можно получить $D(N,p)$ для произвольного простого числа. Пример. $N = 66049 = 2^9 \cdot 129 + 1, p = 257 = 2^8 + 1,\ D = 2 \cdot 129 - 1 = 257.$ Отсюда следует, что все числа +9 этажа с m = 129 +257$\cdot\, k$ составные и делятся на «257».

Таким образом, перебирая m $\pm n$ этажа, мы выделяем на каждое малое p последовательность составных чисел. Эта операция идет на малых индексах m, но фиксируются очень большие числа N. В отличие от классического решета Эратосфена, тут надо проверять каждую не вырезанную ячейку. При этом, обнаружив делимость N с индексом m на p_1 и факторизуя $N = p_1 \cdot p_2 \cdot \ldots \cdot\ p_s$, выделяем сразу s последовательностей: $\{m + kp_1\}; \{m + kp_2\}; \ldots \{m + kp_s\}$ чисел кратных $\{p_1; p_2; \ldots;\ p_s\}$.

Если мы таким образом проверим хотя бы первые 25 простых чисел, то количество индексов m для анализа уменьшается в 4,4 раза.

4. Первое простое число на $\pm n$ этаже $p(\pm n, m, 1)$ с ростом n все больше отодвигается от левого (правого) края. Если m – нечетное число, то $p\big(1, \pm(n+1), m^/\big) > p(1, \pm n, m)$, что следует из определения этажа. При этом, как показал наш расчет [5] до n ≤ 500, $p(\pm n, m, 1) = \exp(n/\xi_n)$, причем параметр ξ_n меняется сравнительно слабо в пределах $(1{,}3 \div 1{,}43)$. Нами проверка этой закономерности в данной работе проведена до n =3000, т.е.

с учетом $\pm n$ для 6000 этажей. Закономерность сохраняется и ξ_n в среднем медленно растет. Например, для $+n$ = 2998; 2999; 3000, m = 393; 741; 651, $\xi_n \approx$ 1,439; 1,438; 1,438. Для для$-n$ = 2998; 2999; 3000, m = 315; 295; 654, $\xi_n \approx$ 1,439; 1,439; 1,438. При этом всегда $\xi_n < (1/ln2) = 1{,}4427$. Если известно ξ_n, то из неравенства $((n+k)/\xi_{n+k}) > (n/\xi_n)$ находим более узкое неравенство $\xi_{n+k} < \xi_n((n+k)/n)$.

Расположим систему этажей в верхней полуплоскости $\mathbb{R}^2$. По оси абсцисс будем откладывать m, по оси ординат – n, положительные этажи расположим в первом квадранте, а отрицательные этажи во втором квадранте. Качественно эта схема показана на рис.1

	191	127								193	449	577		
	3	2								3	7	9		
(-6) этаж							(+6) этаж							
	191	127	31						97	193	353	449		
	6	4	1						3	6	11	14		
(-5) этаж							(+5) этаж							
	127	79	47	31				17	97	113	193	241	331	
	8	5	3	2				1	6	7	12	15	21	
(-4) этаж							(+4) этаж							
79	71	47	31	23	7			17	41	73	89	97	113	137
10	9	6	4	3	1			2	5	9	11	12	14	27
(-3) этаж							(+3) этаж							
47	31	23	19	11	7	3	5	13	17	29	37	41	53	61
12	8	6	5	3	2	1	1	3	4	7	9	10	13	15
(-2) этаж							(+2) этаж							

Рис. 1. Схема расположения этажей с указанием простых чисел и (под ними) их индексов. Например, на -3 этаже имеется p =31= $2^3 \cdot 4 - 1$.

Из рис.1 видно, что на числовом поле имеется односвязный массив составных чисел, ограниченный экспоненциальной параболой (сплошная линия). Граница этого массива состоит из первых простых чисел на $\pm n$ этажах. Например, числа $N = 2^6 m + 1$ при m =1; 2 – составные.

Анализ индексов m можно также проводить по следующим правилам. Если при$(+n)$ индекс $m = 2^{n+s} m_1 m_2 \pm (m_1 + 2^s m_2)$, то $N = 2^n m + 1 = (2^n m_1 \pm 1)(2^{n+s} m_2 \pm 1)$ - число составное. Аналогично, если при $(-n)$ индекс $m = 2^{n+s} m_1 m_2 \pm (2^s m_2 - m_1)$, то $N = 2^n m - 1 = (2^n m_1 \pm 1)(2^{n+s} m_2 \mp 1)$ - число составное. Перед анализом индексов $\pm n$ этажа следует найти m, дающие составные числа и по цепочке выделить все такие m.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	–		1;1	2;1	1;2	3;1	3;2	2;1	1;5	15;7
1	12;5	6;3	3;2	5;1	4;5	2;4	1;2	6;1	3;2	11;1
2	7;14	11;7	25;26	20;13	10;39	5;22	7;11	15;16	12;8	6;4
3	3;2	35;1	18;5	9;6	12;3	6;24	3;12	15;6	10;3	5;25
4	6;24	3;12	9;6	9;3	15;14	35;7	19;20	27;10	15;5	14;19
5	7;11	14;21	7;20	20;10	10;5	5;3	27;32	29;16	54;8	27;4
6	31;2	36;1	18;12	9;6	12;3	6;67	3;63	9;43	31;63	23;40
7	39;20	39;10	40;5	20;15	10;12	5;6	58;3	29;55	15;47	36;30
8	18;15	9;30	13;15	20;64	10;32	5;16	87;8	75;4	61;2	51;1
9	28;48	14;24	7;12	29;6	43;3	77;34	57;17	86;36	43;18	219;9
10	165;24	116;12	58;6	29;3	43;8	53;4	37;2	105;1	93;18	74;9
11	37;150	30;75	15;140	179;70	115;35	197;30	112;15	56;45	28;90	14;45
12	7;54	81;27	84;27	42;16	21;8	11;4	10;2	5;1	21;95	21;115
13	144;110	72;55	36;38	18;19	9;11	225;150	222;75	111;169	103;87	62;48
14	31;24	116;12	58;6	29;3	43;30	68;15	34;20	17;10	81;5	191;34
15	130;17	65;145	81;78	63;39	210;50	105;25	117;30	83;15	43;18	72;9
16	36;27	18;25	9;65	75;76	93;38	74;19	37;321	30;204	15;102	183;51
17	93;27	56;30	28;15	14;69	7;35	27;28	112;14	56;7	28;131	14;160
18	7;80	83;40	100;20	50;10	25;5	29;69	24;152	12;76	6;38	3;19
19	7;33	149;63	133;65	111;45	163;102	192;51	96;155	48;166	24;83	12;120
20	6;60	3;30	135;15	72;24	36;12	18;6	9;3	12;66	6;33	3;36
21	18;18	9;9	73;48	108;24	54;12	27;6	31;3	413;79	220;377	110;349
22	55;240	150;120	75;60	245;30	372;15	186;25	93;135	60;169	30;317	15;346
23	58;173	29;229	25;138	83;69	148;62	74;31	37;117	95;75	67;51	65;273
24	136;149	68;184	34;92	17;46	55;23	29;22	150;11	75;10	207;5	156;136
25	78;68	39;34	43;17	74;27	37;155	204;90	102;45	51;280	147;140	182;70
26	91;35	110;184	55;92	51;46	121;23	68;30	34;15	17;40	25;20	198;10
27	99;5	65;21	48;20	24;10	12;5	6;165	3;255	81;159	252;98	126;49
28	63;362	125;181	135;165	296;103	148;104	74;52	37;26	56;13	28;30	14;15
29	7;26	59;13	286;30	143;15	120;41	60;174	30;87	15;126	93;63	71;69
30	267;182	428;91	214;48	107;24	208;12	104;6	52;3	26;36	13;18	336;9
31	168;411	84;276	42;138	21;69	52;203	26;228	13;114	56;57	28;192	14;96
32	7;48	51;24	265;12	162;6	81;3	126;180	63;90	35;45	261;54	270;27
33	135;33	125;199	90;200	45;100	63;50	209;25	120;297	60;330	30;165	15;144
34	25;72	23;36	67;18	110;9	55;363	68;457	34;458	17;229	96;150	48;75
35	24;110	12;55	6;44	3;22	67;11	35;34	55;17	261;264	378;132	189;66
36	262;33	131;22	144;11	72;181	36;195	18;267	9;143	305;258	156;129	78;199
37	39;231	90;273	45;242	83;121	78;117	39;130	291;65	164;69	82;140	41;70
38	46;35	23;66	67;33	485;81	448;384	224;192	112;96	56;48	28;24	14;12
39	7;6	29;3	55;123	143;76	168;38	84;19	42;230	21;115	57;893	194;669
40	97;378	333;189	192;221	96;495	48;707	24;429	12;248	6;124	3;62	113;31
41	63;71	66;45	33;72	105;36	124;18	62;9	31;80	71;40	358;20	179;10
42	162;5	81;121	843;161	765;166	565;83	896;210	448;105	224;391	112;399	56;375
43	28;533	14;375	7;350	96;175	48;171	24;91	12;119	6;301	3;237	177;481
44	223;504	180;252	90;126	45;63	261;234	200;117	100;290	50;145	25;143	528;397
45	264;432	132;216	66;108	33;54	54;27	27;24	57;12	540;6	270;3	135;34
46	313;17	360;60	180;30	90;15	45;180	131;90	274;45	137;24	136;12	68;6
47	34;3	17;55	445;170	498;85	249;153	131;541	123;468	260;234	130;117	65;319
48	382;173	191;225	115;216	77;108	106;54	53;27	253;212	282;106	141;53	210;325
49	105;458	125;229	478;329	239;231	433;500	659;250	370;125	185;216	295;108	341;54
50	228;27	114;132	57;66	254;33	127;795	755;612	559;306	452;153	226;647	113;444
51	249;222	404;111	202;243	101;157	120;87	60;64	30;32	15;16	39;8	120;4

52	60;2	30;1	15;681	132;439	66;585	33;397	189;336	384;168	192;84	96;42
53	48;21	24;214	12;107	6;291	3;657	141;1035	163;669	158;375	79;276	81;138
54	193;69	545;184	589;92	302;46	151;23	255;189	297;297	225;486	637;243	563;166
55	393;83	200;328	100;164	50;82	25;41	141;310	141;155	254;1026	127;513	77;586
56	151;293	290;340	145;170	507;85	856;308	428;154	214;77	107;139	361;138	345;69
57	337;432	705;216	765;108	623;54	342;27	171;180	162;90	81;45	319;333	341;196
58	250;98	125;49	94;41	47;199	430;194	215;97	522;135	261;265	178;360	89;180
59	310;90	155;45	81;843	98;550	49;275	245;460	183;230	134;115	67;261	266;256
60	133;128	174;64	87;32	414;16	207;8	263;4	535;2	347;1	378;113	189;136
61	330;68	165;34	112;17	56;225	28;113	14;133	7;210	611;105	588;135	294;679
62	147;894	95;447	103;230	170;115	85;2163	126;1197	63;1022	449;511	750;317	375;621
63	198;602	99;301	202;200	101;100	550;50	275;25	145;164	203;82	405;41	282;93
64	141;212	221;106	234;53	117;574	540;287	270;636	135;318	92;159	46;152	23;76
65	240;38	120;19	60;68	30;34	15;17	77;174	366;87	183;165	288;243	144;544
66	72;272	36;136	18;68	9;34	25;17	179;19	154;395	77;334	786;167	393;147
67	762;306	381;153	226;177	113;181	150;332	75;166	111;83	155;67	255;581	347;696
68	381;348	1235;174	1297;87	744;280	372;140	186;70	93;35	617;25	636;339	318;309
69	159;686	252;343	126;470	63;235	102;197	51;136	91;68	231;34	574;17	287;136
70	223;68	683;34	357;17	284;1078	142;539	71;937	277;855	185;565	193;905	296;597
71	148;456	74;228	37;114	758;57	379;63	389;61	381;444	228;222	114;111	57;790
72	133;395	194;205	97;165	264;366	132;183	66;426	33;213	645;423	330;309	165;231
73	484;635	242;354	121;177	113;204	412;102	206;51	103;248	200;124	100;62	50;31
74	25;377	63;727	123;393	272;201	136;335	68;286	34;143	17;123	25;537	393;1009
75	423;917	380;751	190;1044	95;522	505;261	282;273	141;164	746;82	373;41	582;63
76	291;317	479;1660	693;830	524;415	262;278	131;139	249;86	126;43	63;152	455;76
77	438;38	219;19	253;258	981;129	688;411	344;453	172;288	86;144	43;72	72;36
78	36;18	18;9	9;407	189;1155	516;635	258;459	129;306	242;153	121;285	221;417
79	435;416	305;208	313;104	354;52	177;26	267;13	243;608	720;304	360;152	180;76
80	90;38	45;19	670;458	335;229	898;255	449;196	279;98	231;49	162;65	81;556
81	478;278	239;139	483;78	690;39	345;35	312;33	156;1355	78;892	39;446	149;223
82	1632;384	816;192	408;96	204;48	102;24	51;12	112;6	56;3	28;410	14;205
83	7;273	75;1083	123;717	273;496	253;248	651;124	342;62	171;31	229;78	395;39
84	276;278	138;139	69;291	249;318	466;159	233;106	267;53	357;666	1285;333	648;205
85	324;395	162;466	81;233	398;219	199;921	159;856	106;428	53;214	453;107	390;790
86	195;395	624;322	312;161	156;811	78;410	39;205	213;182	117;91	268;72	134;36
87	67;18	1499;9	1096;257	548;756	274;378	137;189	315;354	849;177	462;267	231;348
88	217;174	570;87	285;170	849;85	757;102	989;51	588;62	294;31	147;23	641;84
89	892;42	446;21	223;27	198;244	99;122	135;61	168;105	84;531	42;558	21;279
90	15;180	231;90	870;45	435;166	631;83	1311;70	933;35	537;276	793;138	813;69
91	442;2207	221;1635	556;849	278;442	139;221	564;118	282;59	141;91	627;347	375;304
92	298;152	149;76	135;38	431;19	745;342	785;171	694;180	347;90	421;45	596;130
93	298;65	149;363	223;479	185;277	462;237	231;144	1137;72	791;36	879;18	500;9
94	250;107	125;81	780;720	390;360	195;180	641;90	1083;45	969;88	1015;44	1125;22
95	772;11	386;76	193;38	1481;19	822;93	411;498	207;249	813;390	904;195	452;216
96	226;108	113;54	318;27	159;1479	127;1370	258;685	129;426	632;213	316;150	158;75
97	79;68	101;34	751;17	495;237	423;131	822;553	411;294	1295;147	789;287	407;153
98	882;273	441;564	300;282	150;141	75;719	233;495	850;515	425;471	231;317	1130;711
99	565;930	380;465	190;1287	95;1804	439;902	416;451	208;350	104;175	52;960	26;480
100	13;240									

Таблица параметров $\pm n, m$ для первых простых чисел первых двух тысяч положительных и отрицательных этажей. n указано на границах таблицы, m для +n в ячейке слева, m для –n в ячейке справа. Например, первое простое число на (-150) этаже имеет индекс m = 17, p =$2^{150} \cdot 17 - 1 = 2426321077600131797799086148064141731850669260 7$.

Эта таблица позволит сразу выделить массив составных чисел до 150-200 порядков.

Одной из приоритетных задач современных компьютеров и теории простых чисел является получение рекордных по величине простых чисел. В 2008 г. учеными США было найдено p с примерно 12000000 цифрами. Через пять лет в феврале 2013 ими было опубликовано p с примерно 17000000 цифрами. При этом анализ ведется только по числам Мерсенна p= $2^n - 1$, т. е. по нашей классификации на отрицательных этажах с m = 1. На проверку одного такого числа уходит около месяца расчётов на объединенной в мировом

масштабе компьютерной сети. Нам представляется, что наш подход позволит значительно быстрее раскладывать большие числа на множители и найти более высокие простые числа.

Список литературы

1. *Кнут Д.* Разложение на простые множители. М., Вильямс, 2007 г.
2. *Нестеренко Ю.В.* Введение в криптографию, Питер, 2001.
3. *Дружинин В.В.* Детерминантный признак делимости, Саров, Альфа, 1912.
4. *Дружинин В.В., Лобов Л.А., Сироткина А.Г.* Научно-технический вестник Поволжья, № 4, 17-19, 2012 .
5. *Дружинин В.В., Лобов Л.А., Сироткина А.Г.* Научно-технический вестник Поволжья, № 3, 26-28, 2012 .

01.02.05

С.В. Ершов, А.В. Казаков

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь, ktei@pstu.ru

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА В КАНАЛЕ ДОЗИРУЮЩЕГО ЭКСТРУДЕРА

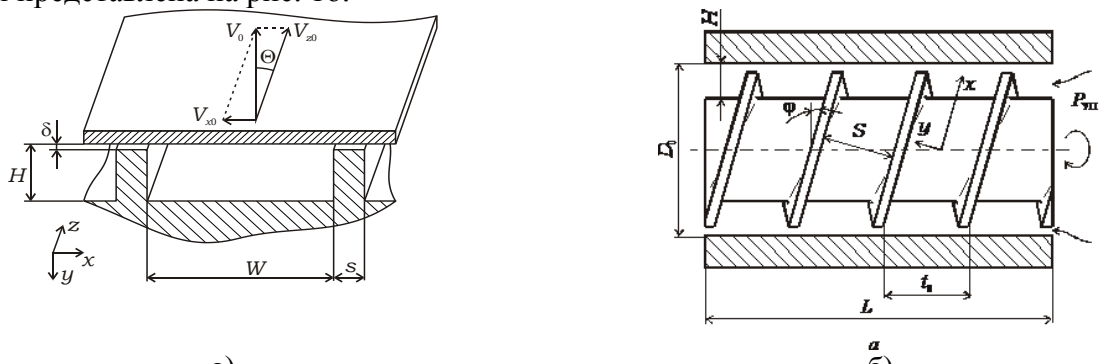
В работе проведено численное исследование процессов тепломассопереноса в винтовом канале дозирующего экструдера для плоской и цилиндрической геметрий канала. Математическое моделирование реализовано в программном комплексе ANSYS.. Представлен сравнительный анализ полей скоростей и температур.

Ключевые слова: *экструдер, численное исследование, математическая модель*.

Среди многочисленных способов переработки полимеров наиболее распространенным является метод экструзии.

Многие исследователи при рассмотрении процессов течения и тепломассопереноса полимера в винтовом канале шнека разворачивали его на плоскость [1]. Целью данной работы было исследование процессов тепломассообмена в винтовом канале дозирующего экструдера и сравнение двух математических моделей.

В случае плоского канала (рис. 1 а) верхняя пластина движется относительно продольной оси под углом Θ со скоростью V_0 (использован принцип обращенного движения [2,3]). Здесь Θ угол подъема винтовой линии. Геометрия винтового канала для второй математической модели представлена на рис. 1б.



а) б)

Рис. 1- Исследуемые модели: а) плоская модель; б) цилиндрическая модель

Математическое представление процессов движения и теплообмена расплавов полимеров описывается законами сохранения массы, количества движения и энергии [2,4]. Математизация законов сохранения приводит к системе дифференциальных уравнений, которые для стационарного и ламинарного течения несжимаемой неньютоновской жидкости в плоском канале имеют вид[2,4,5,6,7]:

$$\frac{\partial \upsilon_x}{\partial x}+\frac{\partial \upsilon_y}{\partial y}+\frac{\partial \upsilon_z}{\partial z}=0\ ; \tag{1}$$

$$\rho\left(\upsilon_x\frac{\partial \upsilon_x}{\partial x}+\upsilon_y\frac{\partial \upsilon_x}{\partial y}+\upsilon_z\frac{\partial \upsilon_x}{\partial z}\right)=-\frac{\partial P}{\partial x}+\frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x}+\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y}+\frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z}\ ; \tag{2}$$

$$\rho\left(\upsilon_x\frac{\partial \upsilon_y}{\partial x}+\upsilon_y\frac{\partial \upsilon_y}{\partial y}+\upsilon_z\frac{\partial \upsilon_y}{\partial z}\right)=-\frac{\partial P}{\partial y}+\frac{\partial \tau_{yx}}{\partial x}+\frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y}+\frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z}\ ; \tag{3}$$

$$\rho\left(\upsilon_x\frac{\partial\upsilon_z}{\partial x}+\upsilon_y\frac{\partial\upsilon_z}{\partial y}+\upsilon_z\frac{\partial\upsilon_z}{\partial z}\right)=-\frac{\partial P}{\partial z}+\frac{\partial\tau_{zx}}{\partial x}+\frac{\partial\tau_{zy}}{\partial y}+\frac{\partial\tau_{zz}}{\partial z}\ ; \quad (4)$$

$$\rho C\left(\upsilon_x\frac{\partial T}{\partial x}+\upsilon_y\frac{\partial T}{\partial y}+\upsilon_z\frac{\partial T}{\partial z}\right)=\frac{\partial}{\partial x}\left(\lambda\frac{\partial T}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(\lambda\frac{\partial T}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(\lambda\frac{\partial T}{\partial z}\right)+\Phi\ ; \quad (5)$$

где x, y, z – прямоугольные координаты; υ_x, υ_y, υ_z – компоненты вектора скорости; τ_{ij} – компоненты девиатора тензора напряжений; P – гидростатическое давление; T – температура; Φ – диссипативный источник тепла. ρ – плотность полимера; C – удельная теплоемкость полимера; λ – коэффициент теплопроводности полимера.

Функция диссипации вычисляется по формуле

$$\Phi=\tau_{xx}\frac{\partial V_x}{\partial x}+\tau_{yy}\frac{\partial\upsilon_y}{\partial y}+\tau_{zz}\frac{\partial\upsilon_z}{\partial z}+\tau_{xy}\left(\frac{\partial\upsilon_x}{\partial y}+\frac{\partial\upsilon_y}{\partial x}\right)+\tau_{yz}\left(\frac{\partial\upsilon_y}{\partial z}+\frac{\partial\upsilon_z}{\partial y}\right)+\tau_{zx}\left(\frac{\partial\upsilon_z}{\partial x}+\frac{\partial\upsilon_x}{\partial z}\right)=\mu_Э\frac{I_2}{2}. \quad (6)$$

Система дифференциальных уравнений для второй модели в цилиндрических координатах запишется:

$$\frac{1}{r}\frac{\partial(r\upsilon_r)}{\partial r}+\frac{1}{r}\frac{\partial\upsilon_\varphi}{\partial\varphi}+\frac{\partial\upsilon_\zeta}{\partial\zeta}=0\ ; \quad (7)$$

$$\rho\left(\upsilon_r\frac{\partial\upsilon_r}{\partial r}+\frac{\upsilon_\varphi}{r}\frac{\partial\upsilon_r}{\partial\varphi}-\frac{\upsilon_\varphi^{\ 2}}{r}+\upsilon_\zeta\frac{\partial\upsilon_r}{\partial\zeta}\right)=-\frac{\partial P}{\partial r}+\frac{1}{r}\frac{\partial(r\tau_{rr})}{\partial r}+\frac{1}{r}\frac{\partial\tau_{r\varphi}}{\partial\varphi}-\frac{\tau_{\varphi\varphi}}{r}+\frac{\partial\tau_{r\zeta}}{\partial\zeta}; \quad (8)$$

$$\rho\left(\upsilon_r\frac{\partial\upsilon_\varphi}{\partial r}+\frac{\upsilon_\varphi}{r}\frac{\partial\upsilon_\varphi}{\partial\varphi}+\frac{\upsilon_r\upsilon_\varphi}{r}+\upsilon_\zeta\frac{\partial\upsilon_\varphi}{\partial\zeta}\right)=-\frac{1}{r}\frac{\partial P}{\partial\varphi}+\frac{1}{r^2}\frac{\partial(r^2\tau_{r\varphi})}{\partial r}+\frac{1}{r}\frac{\partial\tau_{\varphi\varphi}}{\partial\varphi}+\frac{\partial\tau_{\varphi\zeta}}{\partial\zeta}; \quad (9)$$

$$\rho\left(\upsilon_r\frac{\partial\upsilon_\zeta}{\partial r}+\frac{\upsilon_\varphi}{r}\frac{\partial\upsilon_\zeta}{\partial\varphi}+\upsilon_\zeta\frac{\partial\upsilon_\zeta}{\partial\zeta}\right)=-\frac{\partial P}{\partial\zeta}+\frac{1}{r}\frac{\partial(r\tau_{r\zeta})}{\partial r}+\frac{1}{r}\frac{\partial\tau_{\varphi\zeta}}{\partial\varphi}+\frac{\partial\tau_{\zeta\zeta}}{\partial\zeta}; \quad (10)$$

$$\rho C\left(\upsilon_r\frac{\partial T}{\partial r}+\frac{\upsilon_\varphi}{r}\frac{\partial T}{\partial\varphi}+\upsilon_\zeta\frac{\partial T}{\partial\zeta}\right)=\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(r\lambda\frac{\partial T}{\partial r}\right)+\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial\varphi}\left(\lambda\frac{1}{r}\frac{\partial T}{\partial\varphi}\right)+\frac{\partial}{\partial\zeta}\left(\lambda\frac{\partial T}{\partial\zeta}\right)+\Phi; \quad (11)$$

где r, φ, ζ – радиальная, окружная и продольная цилиндрические координаты; υ_r, υ_φ, υ_ζ – компоненты вектора скорости.

Функция диссипации

$$\Phi=\tau_{rr}\frac{\partial V_r}{\partial r}+\tau_{\varphi\varphi}\frac{1}{r}\left(\frac{\partial\upsilon_\varphi}{\partial\varphi}+\upsilon_r\right)+\tau_{\zeta\zeta}\frac{\partial\upsilon_\zeta}{\partial\zeta}+\tau_{r\varphi}\left[\frac{1}{r}\frac{\partial\upsilon_r}{\partial\varphi}+r\frac{\partial}{\partial r}\left(\frac{\upsilon_\varphi}{r}\right)\right]+$$
$$+\tau_{r\zeta}\left(\frac{\partial\upsilon_\zeta}{\partial\zeta}+\frac{\partial\upsilon_\zeta}{\partial r}\right)+\tau_{\varphi\zeta}\left(\frac{\partial\upsilon_\varphi}{\partial\zeta}+\frac{1}{r}\frac{\partial\upsilon_\zeta}{\partial\varphi}\right)=\mu_Э\frac{I_2}{2}\ . \quad (12)$$

В области скоростей сдвига, характерных для переработки большинства полимеров, зависимость вязкости от скорости сдвига в логарифмических координатах может быть описана степенным законом.[1]

Системы уравнений (1)- (6) и (7)-(12) замыкались следующими граничными условиям: температура корпуса экструдера задавалась 200 ºС, температура шнека – 180 ºС, материал в канал заранее нагревается и поступает в виде расплава с температурой 180 ºС. Скорость вращения шнека составила 60 об/мин, в модели винтового канала она была преобразована в радиальную скорость, а в модели плоского канала разложена на компоненты по осям *Y* и *Z*.

Численные исследования проведены для экструдера с классической геометрией шнека, его размеры представлены в таблице 1.

Таблица 1- Базовая геометрия шнека

Внутренний диаметр цилиндра (корпуса), мм	160,0
Наружный диаметр шнека, мм	159,4
Шаг винтовой нарезки, мм	160,0
Ширина канала W, мм	137,3
Ширина гребня винтовой нарезки S, мм	15,3
Длина геометрической зоны дозирования ΔZ_1, витки	4
Глубина канала в зоне дозирования H_1, мм	4
Угол подъема винтовой линии Θ, град	17°39′
Радиальный зазор между гребнем шнека и корпусом δ, мм	0,3

В качестве полимера для исследования выбран полиэтилен (ПЭ) марки LE-4421m. Реологические и теплофизические свойства полимера приведены в табл. 2. Расплавы полимеров ПЭ относятся к псевдопластическим.

Таблица 2- Реологические и теплофизические свойства полимеров

Полимер	n	μ0	Tα	α	ρ_m	λ_m	C
	–	Па·сп	К	К	кг/м3	Вт/(м·К)	Дж/(кг·К)
LE-4421m	0,542	14946	433	2932	779,0	0,182	2500

В результате проведенных исследований были получены следующие результаты. На рисунках 2 – 4 представлены результаты расчетов для каждой модели. Так как толщина канала составляет 4 мм, поэтому для визуализации температурного поля на рисунках она увеличена в 10 раз.

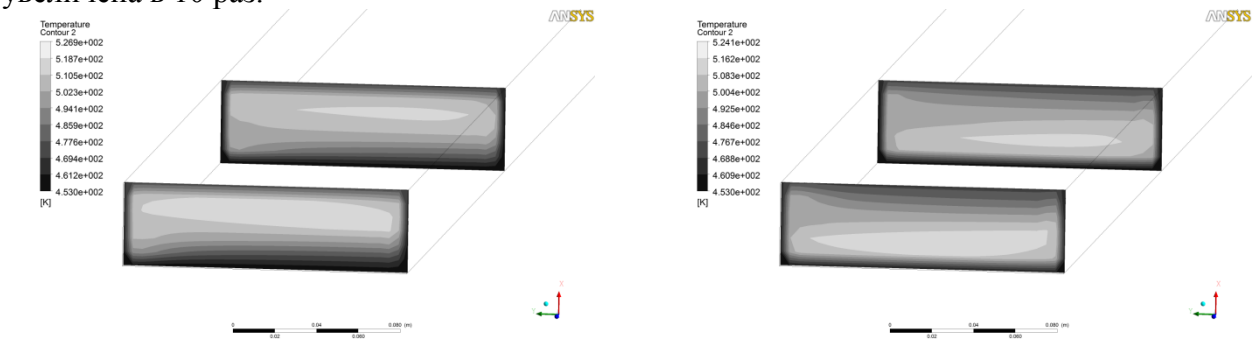


Рис. 2- Температурные поля для модели плоского канала: а) с использованием принципа обращенного движения; б) без использования принципа обращенного движения

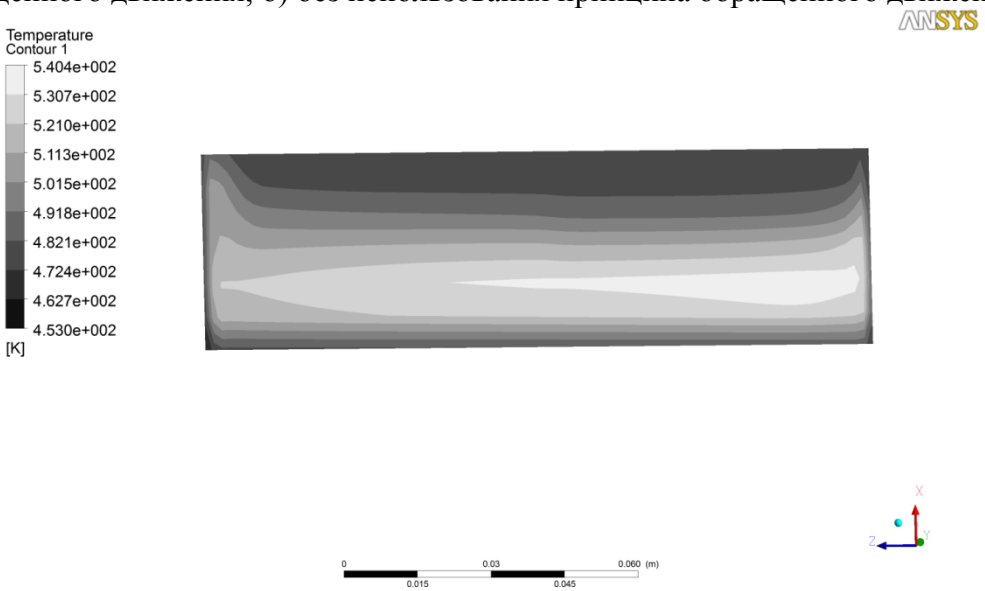


Рис. 3- Температурное поле для модели винтового канала при вращении шнека

Значительное увеличение температуры, наблюдаемое в середине канала обусловлено диссипацией (рис. 2 - 3). Так как перерабатываемый полимер имеет высокую вязкость, трение между частицами материала достигает больших значений, в результате которых полимер разогревается до высоких температур, которые могут привести к термическому разложению полимера.

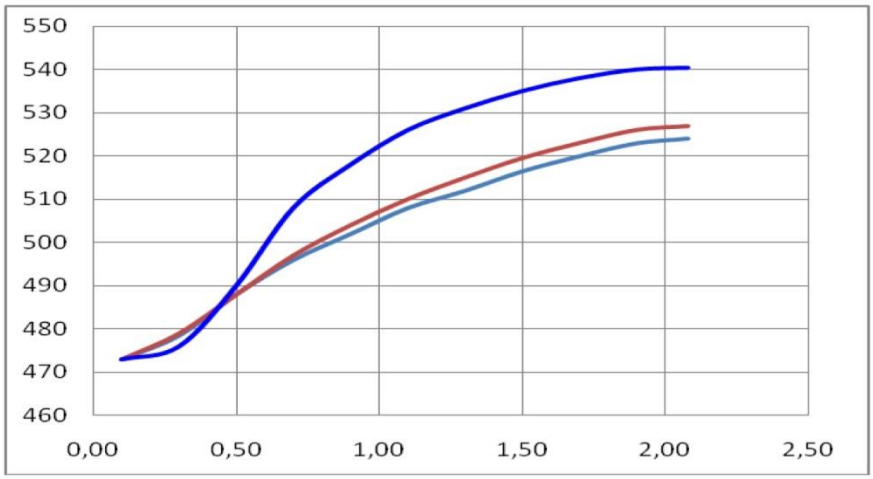


Рис. 4- График распределения максимальной температуры по длине канала

С помощью полученных результатов, можно сделать вывод о том, что принцип обращенного движения дает приблизительно те же результаты, что и модель вращения шнека. На рисунках видно, что разница максимальных температур между моделями не превышает 3 К. При переходе от модели плоского канала к модели винтового, наблюдается увеличение максимальной температуры на 13,5 К, что соответствует 2,5 %. Это вызвано изгибом винтовой линии. В зависимости от геометрии шнека эти значения могут достигать до (7 – 10) %.

Список литературы

1. *К. Раувендааль.* Экструзия полимеров. Санкт-Петербург: Профессия, 2008. с. 750, 178-182.
2. *Тадмор З., Гогос К.* Теоретические основы переработки полимеров. М.: Химия, 1984. 632 с.
3. *Янков В.И., Первадчук В.П., Боярченко В.И.* Процессы переработки волокнообразующих полимеров (методы расчета). М.: Химия, 1989. 320 с.
4. *Торнер Р.В.* Теоретические основы переработки полимеров. – М.: Химия, 1977. – 460 с.
5. *Янков В.И., Первадчук В.П., Боярченко В.И.* Процессы переработки волокнообразующих полимеров (методы расчета). М.: Химия, 1989. 320 с.
6. *Астарита Дж., Маруччи Дж.* Основы гидромеханики неньютоновских жидкостей. М.: Мир, 1978. 309 с.
7. *Лойцянский Л.Г.* Механика жидкости и газа. М.: Наука, 1973. 848 с.

01.02.05

А.В. Казаков к.т.н., Н.М. Труфанова д.т.н.

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

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО СЛОИСТОГО ТЕЧЕНИЯ АНОМАЛЬНО-ВЯЗКИХ ЖИДКОСТЕЙ В КАНАЛАХ КАБЕЛЬНОЙ ГОЛОВКИ

В статье приводится постановка и решение задачи течения разнородных аномально вязких расплавов полимера в каналах кабельной головки, имеющей участки совместного течения. Особенностью расчета является сложная форма каналов, вследствие чего задача решалась в трехмерной постановке.

Ключевые слова: *многослойное течение, численное моделирование, реология полимеров.*

Тенденции современного кабельного производства однозначно сводятся к применению в качестве изоляции кабелей материалов, обладающих повышенными эксплуатационными характеристиками. Как правило, такими материалами являются пластмассы, в частности – полиэтилен, свойства которого модифицированы за счет добавления специальных компонент, обеспечивающих, в том числе, и проводниковые свойства экранов. Технология формирования многослойной структуры (полупроводящий экран – изоляция – экран) предусматривает одновременное нанесение всех слоев, что требует соблюдения целого ряда условий и технологических параметров производства. Это связано с особым поведением расплавов полимеров, которые обладают нелинейной зависимостью вязкости, как от скорости сдвига, так и от температуры. Несоблюдение теплового режима, или расхода любого из экструдеров приводит к получению изоляции ненадлежащего качества, поэтому актуален вопрос выбора необходимого технологического режима переработки.

Существует две основных методики получения рабочих точек экструзионного оборудования. Первый основан на натурном экспериментировании: на действующем оборудовании при различных условиях производится серия образцов кабельной продукции, которые затем изучаются на предмет соответствия требованиям ГОСТа или ТУ. Очевидно, что такая методика достаточно расточительна. Кроме того, есть вероятность, что подобранный таким методом режим не будет оптимальным с точки зрения максимально возможной производительности. По второй методике натурное экспериментирование заменяется на моделирование процесса переработки. Т.к. это значительно менее трудоемкая процедура, сокращается время и материальные ресурсы на исследование. Поэтому на сегодняшний день построение эффекторных математических моделей формирования многослойной полимерной изоляции является весьма актуальной задачей.

Ранее рассматриваемые модели [1, 2] обладали некоторыми недостатками. В частности в [1] рассматривалось однослойное течение, а в [2] геометрия приводилась к двумерной осесимметричной, что также далеко от реальной геометрии кабельного канала.

На рис. 1 представлено строение каналов реальной кабельной головки. Хорошо заметны вводы адаптеров, по которым расплавы полимеров подаются от экструдеров в кабельную головку. Одной из задач исследования ставилось удостовериться в том, что осенесимметричная подача расплавов приводит к неравномерному распределению материала на выходе кабельной головки.

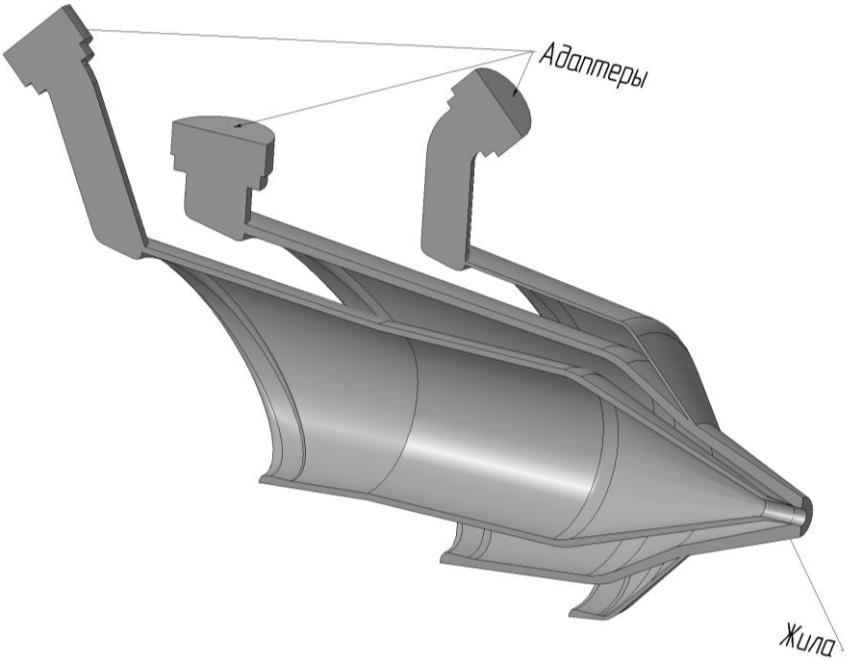


Рис. 1 – Геометрия каналов кабельной головки

Математическая модель многослойного течения была основана на законах сохранения. С целью упрощения были сделаны следующие допущения: процесс стационарный; среда несжимаемая, без упругих свойств; массовые силы значительно меньше поверхностных; на границах канала реализуется условия прилипания и непроницаемости; теплофизические характеристики постоянны; в силу наличия плоскости симметрии рассчитывалась только половина геометрии модели.

В результате сделанных допущений система дифференциальных уравнений [3] для каждого из слоев потока в скоростях имеет следующий вид:

$$\frac{\partial V_i}{\partial x_i} = 0,\ \rho^k V_j \frac{\partial V_i}{\partial x_j} = -\frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j},\ \rho^k C^k V_i \frac{\partial T}{\partial x_i} = \lambda^k \frac{\partial^2 T}{\partial x_i^2} + \Phi,$$

где индекс k – определяет номер слоя в потоке и соответствующий ему материал; x_i – декартовы координаты (x, y, z); V_i, - компоненты вектора скорости (V_x, V_y, V_z); Φ – диссипативный источник тепла; P – давление; T – температура; ρ – плотность; C – теплоемкость; λ – теплопроводность; τ_{ij} – компоненты тензора напряжений, определяемые как

$$\tau_{ij} = \mu_э^{\,k}\left(\frac{\partial V_i}{\partial x_j} + \frac{\partial V_j}{\partial x_i}\right),$$

где $\mu_э$ – эффективная вязкость, являющаяся функцией скорости сдвига и температуры:

$$\mu_э = \mu_0 e^{-\beta(T-T_0)}\left(\frac{I_2}{2}\right)^{\frac{n-1}{2}},$$

где μ_0 – начальная вязкость при T_0, β – температурный коэффициент вязкости, n – коэффициент аномалии вязкости, I_2 – второй инвариант тензора скоростей деформации.

Система дифференциальных уравнений замыкалась следующими граничными условиями: на неподвижных стенках компоненты скорости равны нулю; на границе контакта с подвижной жилой продольная компонента скорости равна скорости движения жилы; на входе в каналы задавались давления; на выходе – граничные условия второго рода по скорости и температуре; температура неподвижных стенок каналов 443К; температура расплавов полимеров на выходе из экструдеров 423К; температура подвижной жилы 383К; на плоскости симметрии – граничные условия второго рода по скорости и температуре.

Задача решалась численно, с применением метода конечных элементов. Основной сложностью такого решения является дискретизация счетной области в виде сетки конечных элементов, т.к. каналы достаточно тонкие и протяженные. В итоге при использовании нерегулярной тетраэдрической сетки получалось чрезмерное количество элементов, что приводило к невозможности счета подобной модели. Однако недавно появились специальные методы разбиения подобных видов сложных геометрий при помощи заранее накладываемых блочных структур, что позволило сформировать сетку гексаэдрических конечных элементов в количестве 136 тыс., которая была обсчитана на персональном компьютере. При этом в самом тонком сечении канала было не менее 9-ти узлов.

В результате расчета были получены скалярные поля температур, давлений, вязкостей перерабатываемых материалов, а также распределения скоростей. Была построена в явном виде граница распределения трех потоков (рис. 2).

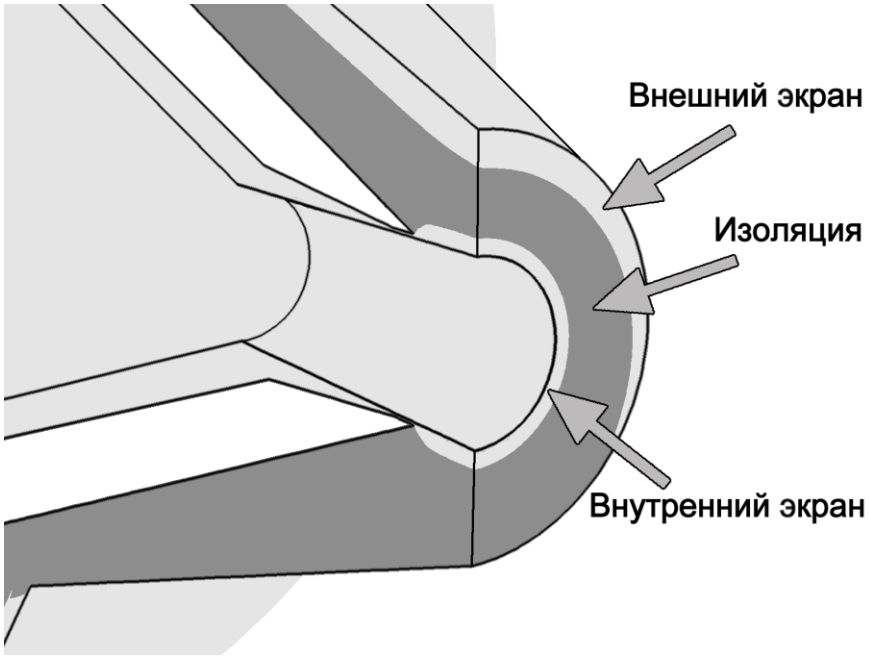


Рис. 2 – Распределение потоков на выходе кабельной головки

Подобная картина с успехом может заменить натурное измерение толщин накладываемых на токопроводящую жилу слоев, для которого, как правило, требуется произвести поперечный разрез кабеля. Анализ полученного распределения потоков для конкретного технологического режима позволил сделать вывод о его нерациональности: если внутренний экран накладывается на жилу равномерно нормативной толщины (см. рис. 2), то внешний полупроводящий экран накладывается крайне неравномерно (в нижней части он практически отсутствует), что негативно скажется на эксплуатационных характеристиках готового кабельного изделия. Такое распределение потоков на выходе кабельной головки обусловлено, прежде всего, расположением вводов экструдеров, чего не могли учитывать более простые плоские и осесимметричные математические модели.

Список литературы

1. *Казаков А.В., Савченко В.Г., Труфанова Н.М.* Моделирование процессов тепломассопереноса полимера в головке экструдера с учетом и без учета зависимости вязкости от температуры // Интеллектуальные системы в производстве. – 2010. – №1 (15). – С. 130–133.

2. *Казаков А.В., Труфанова Н.М.* Численные исследования режимов стратифицированного течения и методика управления процессом экструзионного наложения многослойной изоляции // Известия Томского политехнического университета. – 2012. – Т. 320. № 4. – С. 167–171.

3. *Тадмор З., Гогос К.* Теоретические основы переработки полимеров. М.: Химия, 1984. 632 с.

01.02.05

Е.Ю. Навалихина

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, электротехнический факультет, кафедра конструирование и технологии в электротехнике, Пермь, ekaterinanavalikhina@yandex.ru

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ, ПРОЛОЖЕННЫХ В ПОДЗЕМНОМ КАНАЛЕ

В данной работе рассмотрен нестационарный процесс тепломассопереноса в кабельном канале и его численная реализация в двумерной постановке. Приведены полученные температурные поля в кабельном канале. Построены зависимости выхода температуры кабелей на стационарный режим.

Ключевые слова: *температурное поле, нестационарный режим, передаваемая мощность, электрические перегрузки.*

Обеспечение надежности и эффективной работы кабельных линий (КЛ) в условиях вынужденной электрической перегрузки является на сегодняшний день актуальной задачей. При перегрузке кабельного канала происходит деструкция изолирующих элементов кабелей, что может привести к выходу из строя КЛ в целом. Поэтому необходимо прогнозирование работоспособности кабелей, которое невозможно без анализа температурных полей в условиях конкретной эксплуатации линий.

В данной работе рассматривается задача по определению эксплуатационных характеристик КЛ при заранее заданной пропускной способности, приведенной в соответствии с МЭК 60287 [1].

В таблице 1 приведены рассчитанные по инженерным формулам с учетом поправочных коэффициентов допустимые токи кабелей при нормальном режиме работы всей кабельной системы и при электрической перегрузке.

Таблица 1- Допустимые токовые нагрузки

Напряжение кабелей, кВ	Ток при допустимом режиме работы, А	Ток при электрической перегрузке, А
6	110	137
35	116	148

Поскольку передаваемая мощность зависит от температурных условий в канале, необходимо рассматривать задачу сложного тепломассобмена.

Математическая модель движения и теплообмена в канале основывается на законах сохранения массы, количества движения и энергии [3].

Схематичное изображение рассматриваемого кабельного канала представлено на рис.1.

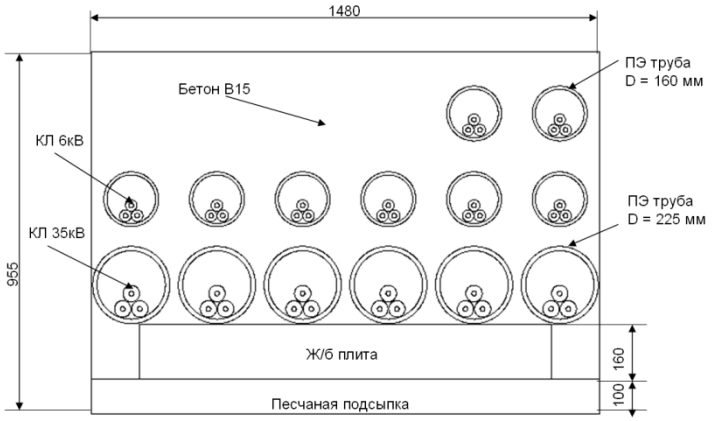


Рис. 1 – Геометрические размеры кабельного канала

Были сделаны следующие допущения: задача нестационарная, движение воздушного потока ламинарное, теплофизические характеристики материалов постоянны.

Для рационализации счета температурных полей 14 КЛ, расположенных в кабельном канале, многослойная конструкция кабелей заменена однородным монолитным материалом с эквивалентной теплопроводностью. Верификация математической модели кабеля с эквивалентной теплопроводностью рассмотрена ранее в работе [4].

В общей постановке система дифференциальных уравнений, описывающих процессы тепломассопереноса, имеют вид:

Уравнение неразрывности:

$$\vartheta_i \frac{\partial \rho}{\partial x_i} = \rho \frac{\partial \vartheta_i}{\partial x_i} \tag{1}$$

Уравнение движения:

$$\frac{\partial \vartheta_i}{\partial t} + \rho \vartheta_j \frac{\partial \vartheta_i}{\partial \tilde{o}_j} = -\mu \Delta \vartheta_i + f_i \tag{2}$$

Уравнение энергии для воздуха:

$$\rho c \vartheta_i (\frac{\partial T}{\partial x_i} + \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \Delta T + q_v \tag{3}$$

Уравнение теплопроводности для кабельных линий:

$$\lambda_{\hat{e}} \Delta T + q_v = c\rho \frac{\partial T}{\partial t} \tag{4}$$

Уравнение теплопроводности земли:

$$\lambda_{\varsigma} \Delta T = c\rho \frac{\partial T}{\partial t}, \tag{5}$$

где ρ – плотность материала, x_i - декартовые координаты, ϑ_i, - компоненты вектора скорости воздуха в канале, f_i – сила конвективного переноса; c – теплоемкость среды, T – температура; λ – теплопроводность воздуха, q_v – мощность внутренних источников тепла, $\lambda_{\hat{e}}$ –теплопроводность конструктивных элементов кабельного канала, λ_{ς} –теплопроводность земли , μ – динамическая вязкость воздуха, t - время.

Конвективный теплообмен между кабелями и стенками полиэтиленовой трубы дополняется энергией излучения между сегментами поверхностей, являющимися границами областей [2].

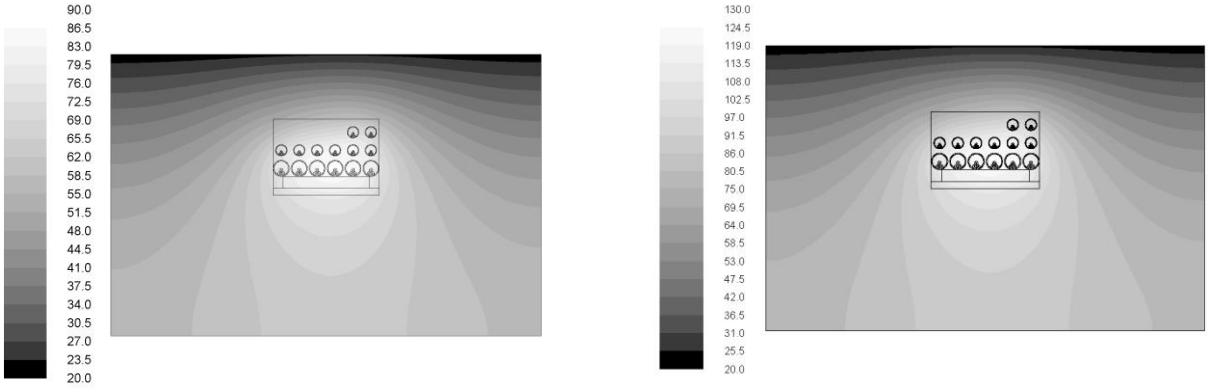
Система дифференциальных уравнений (1)-(5) замыкается следующими граничными условиями: на твердых непроницаемых границах канала и на поверхности кабелей для компонент скоростей воздуха задается условие прилипания и непроникновения; на

поверхности земли задано граничное условие конвективного теплообмена; на трех других границах в массиве земли заданы адиабатические условия теплообмена; на границах контакта разнородных сред задавались граничные условия четвертого рода.

Задача решалась численно, с применением метода конечных элементов.

На рис. 2 представлены распределения температуры в кабельном канале при максимально допустимой нагрузке и в режиме перегрузки.

Результаты численного моделирования показали, что температурное поле в канале в том и другом случае достаточно однородное. Такое перераспределение температурного поля объясняется интенсивным перемешиванием массы воздуха за счет естественной конвекции. По полученному температурному полю в кабельном канале были определены кабели, расположенные в центральной части, которые находятся в более жестких температурных условиях. Это связано с экранированием температурного поля центральных КЛ окружающими.



а) *б)*

Рис. 2 – Температурное поле кабельного канала и массива земли (^{0}C):
а) при максимально допустимой нагрузке; *б)* при перегрузке

При анализе процессов в реальном времени важно учитывать интенсивность нагрева КЛ. В рамках стационарной задачи невозможно определить, например, время разогрева КЛ до критического значения. С целью определения времени нагрева (предельного времени перегрузки линии) был произведен расчет нестационарного режима нагрева кабельной линии.

Результат расчета позволил построить зависимость распределения предельной температуры на поверхности токопроводящей жилы от времени.

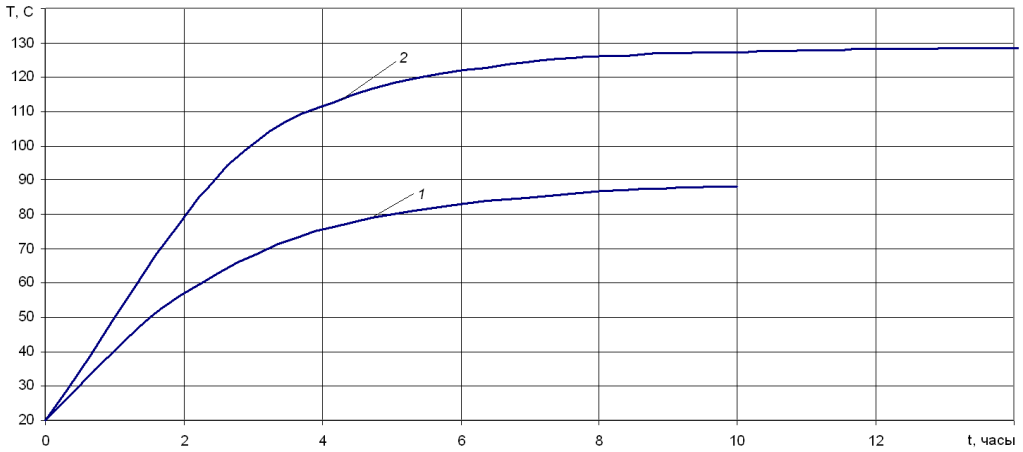


Рис. 3 – Зависимость максимальной температуры
на поверхности токопроводящей жилы от времени:
1) при максимально допустимой нагрузке; *2)* при перегрузке

Из рис.3 видно, что характер нагрева носит экспоненциальный характер. Это хорошо согласуется с теоретическими сведениями. Особый интерес представляет кривая распределения температуры на поверхности токопроводящей жилы при режиме перегружения. До рабочей температуры, равной 90^0С жила нагреется за 2, 3 часа, а до критической температуры время нагрева составляет 4 часа. Дальнейшее увеличение температуры может негативно отразиться на качестве изолирующих частей кабеля.

Приведенный в работе расчет позволил определить тепловой режим кабельного канала, что, дало возможность определить характер условий работы отдельных линий. Расчет нестационарной задачи сделал возможным определить временные интервалы нагрева КЛ. Эти результаты могут быть использованы при расчете поведения КЛ в моменты включения, перегрузки или в аварийном режиме, что позволит определить режимы эксплуатации КЛ с заданным уровнем надежности.

Список литературы

1. ГОСТ Р МЭК 60287 – 1 – 1 – 2009 «Кабели электрические. Расчет номинальной токовой нагрузкой» Часть 1 – 1
2. *Крейт Ф., Блейк У*. Основы теплопередачи. М.: Мир, 1983. – С. 512.
3. *Лояцянский Л.Г*. Механика жидкости и газа. М.: Наука, 1973. – С. 848.
4. *Труфанова Н.М., Навалихина Е.Ю.* Управление токовой нагрузкой линий в кабельном канале с учетом сложного теплообмена // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2012. – Т. 12. № 4(5). – С. 1318–1321.

01.04.14

[1]Н.А. Парфентьева, [2]С.В. Труханов, [3]С.А. Паулаускайте

[1,2]ФГБОУ ВПО «Московский государственный строительный университет» (МГСУ), Институт фундаментального образования, кафедра физики, Москва, svtrou@mail.ru
[3]Вильнюсский технический университет, кафедра отопления и вентиляции

МЕТОД СУПЕРПОЗИЦИИ ПРИ РАСЧЕТАХ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ПОТЕНЦИАЛОВ

В работе рассматриваются возможности применения метода суперпозиции для решения задач об определении полей давлений, концентраций и температуры при наличии в среде источников и стоков. Приводятся частные решения и предлагается упрощенный метод численных решений.

Ключевые слова: *суперпозиция, потенциал, нестационарный, источник, сток.*

Решение задач определения нестационарных потенциалов при наличии источников и стоков в общем случае представляет значительные трудности. Решению подобных задач посвящено много работ, в частности работы [1, 2], а при учете конвекции работа [3].

Нами рассмотрен комплекс задач, где под нестационарными потенциалами мы имеем в виду физическую скалярную функцию, градиент которой пропорционален потоку, то есть это может быть концентрация вредных примесей, температура, давление упругой жидкости в упругой пористой среде.

Дифференциальное уравнение, описывающее поля концентраций, температуры и давления – уравнение теплопроводности – это линейное дифференциальное уравнение [4, 5].

Отметим, что мы рассматриваем случай, когда коэффициенты переноса постоянные величины. Известно, что линейность уравнения позволяет использовать метод суперпозиции решений, то есть можно взять сумму решений уравнения, каждое из которых удовлетворяет и уравнению и начальным и граничным условиям.

Заметим, что наличие аналитического решения даже при упрощении поставленной задачи является полезным для анализа правильности решения, полученного численными методами, а также для качественного анализа.

Фундаментальное решение уравнения теплопроводности в плоско-радиальном случае имеет вид:

$$n(r,t)=\frac{1}{t}e^{-\frac{r^2}{4Dt}},$$

где в данном случае D - коэффициент диффузии, соответственно для задач теплопроводности и полей давлений вместо D ставятся коэффициенты температуропроводности a и пьезопроводности χ.

Заметим, что граничные и начальные условия при решении уравнения при работе одного источника или стока должны быть подобраны так, чтобы они соответствовали условиям поставленной задачи, иначе при применении метода суперпозиции мы можем получить абсурдный результат, например температура при граничных условиях первого рода при больших значениях времени будет больше температуры на границе, что противоречит физическому смыслу.

Представим простой случай, например, известно решение уравнения молекулярной диффузии для плоского случая при внезапном появлении источника вредных примесей в какой-то точке пространства. Решение уравнения диффузии определяет повышение концентрации в любой момент времени в любой точке пространства после начала работы источника. При этом считается, что источник начал действовать в момент времени $t=0$, то есть он совпадает с началом работы одного из источников.

Если бы появились не один, а несколько источников или стоков, то есть устройств, очищающих воздух, то увеличение концентрации можно определить, как алгебраическую сумму решений, вызванных каждым отдельным источником. Если источники начинают выделять примеси неодновременно, а например, включаются через время τ то в решении надо брать временную зависимость $t - \tau$.

Пользуясь известными формулами, можно рассмотреть взаимодействие как мгновенных, так и непрерывных источников, причем с разными мощностями (числом частиц, выделяющихся в единицу времени).

Рассмотрим случай, когда источник мощностью q в момент времени $t = 0$ начал выделять примеси, а в момент времени τ выделение было прекращено. Предположим, что в начальный момент времени концентрация вредных примесей была равна нулю.

В момент времени t_1 будем считать, что включился сток той же мощности в той же точке пространства.

Обозначим n_1 – концентрацию примесей при непрерывной работе источника, а n_2 - концентрацию примеси, определяемую работой стока той же мощности.

Считаем согласно принципу суперпозиции работу источника и стока независимыми, каждый из них определяет свое поле концентрации.

Тогда поле концентрации можно определить по формуле:

$$n = \frac{q}{4\pi bD}\left[\mathrm{Ei}\left(-\frac{r^2}{4Dt}\right) - \mathrm{Ei}\left(-\frac{r^2}{4D(t-\tau)}\right)\right],$$

где Ei – интегральная показательная функция.

Отметим, что данная формула справедлива для решения задачи в плоско-радиальном случае, b - это длина, это может быть высота помещения или его ширина.

При рассмотрении задачи с переменной мощностью источника можно использовать аналогичный прием. Так, если в момент времени τ мощность источника уменьшается от q_1 до q_2, то решение можно записать в виде:

$$n = \frac{q_1}{4\pi bD}\mathrm{Ei}\left(-\frac{r^2}{4Dt}\right) + \frac{q_1 - q_2}{4\pi bD}\mathrm{Ei}\left(-\frac{r^2}{4D(t-\tau)}\right).$$

Если в рассматриваемом пространстве существует несколько источников вредных примесей и есть некоторое количество их поглотителей (стоков), то на основании принципа суперпозиции можно записать

$$n = \sum_i n_i .$$

Каждое поле определяется мощностью и временем начала выделения примесей каждого источника, решение записывается в виде:

$$n_i = \frac{q_i}{4\pi bD}\mathrm{Ei}\left(-\frac{r_i^2}{4D(t-\tau_i)}\right).$$

Отметим, что за полюс выбираем некоторую точку плоскости O, полярными координатами точки M будут r и θ, тогда положение каждого i-го источника или стока определяем в полярной системе координат.

$$r_i^2 = r^2 + R_i^2 - 2rR_i\cos(\theta - \alpha_i),$$

где R_i и α_i - полярные координаты данного источника (стока).

Тогда значения концентрации в точке M определяется формулой:

$$n = \frac{1}{4\pi bD}\sum_i \mathrm{Ei}\left(-\frac{r^2 + R_i^2 - 2rR_i\cos\left(\theta - \alpha_i\right)}{4D(t-\tau_i)}\right).$$

Из данного решения можно сделать достаточно очевидные, но важные выводы, которые имеют строгое математическое доказательство.

Если суммарная мощность источников равна суммарной мощности стоков, то независимо от их расположения и времени начала выделения или поглощения, концентрация вредных примесей будет постоянна.

Заметим, что данное решение справедливо и для определения распределения температур при наличии тепловых источников и стоков и для определения понижения или повышения давления при известных значениях дебитов источников и стоков.

Мы рассмотрели случай линейных источников, но совершенно аналогичные решения будут и для точечных источников, единственным отличием является вид фундаментального решения в сферической системе координат.

Если мощность источников и стоков изменяется со временем, то для получения решения можно воспользоваться теоремой Дюамеля, позволяющей на основе фундаментального решения при постоянной мощности, получить достаточно простую формулу и в этом случае.

Метод суперпозиции дает возможность упрощения численных решений, так как существенно упрощается постановка задачи, а затем делается простое суммирование.

Если решать задачу в ограниченной области, то, как мы говорили, надо кроме решения подобрать разумные граничные условия.

При учете конвективной составляющей переноса уравнение диффузии имеет вид:

$$D\Delta n - \beta \frac{\partial n}{\partial x} = \frac{\partial n}{\partial t}.$$

Как мы видим, характер уравнения не меняется, поэтому и в этом случае можно применять принцип суперпозиции, правильно подбирая граничные условия.

Еще раз обратим внимание на то, что принцип суперпозиции можно применять для всех процессов, математической моделью которых является уравнение теплопроводности.

Список литературы

1. *Chen Z., Huan G., Ma Y.* Computational Methods for Multiphase Flows in Porous Media. SIAM, 2006.

2. *Hughes T. J. R., Mallet M., Mizukami A.* A new finite element formulation for computational fluid dynamics. II. Beyond SUPG // Comp. Meth. Appl.Mech. Engrg. 1986. Vol. 54. Pp. 341–355.

3. *Самарский А.А., Вабищевич П.Н.* Численные методы решения задач конвекции-диффузии. М.: Эдиториал УРСС, 1999. 248 с.

4. *Колдоба А.В., Повещенко Ю.А., Самарская Е.А., Тишкин В.Ф.* Методы математического моделирования окружающей среды. М.: Наука, 2000.

5. *Генин Л.Г.* Численный расчет нестационарного температурного поля в плоском тепловыделяющем элементе. Методическое пособие к типовому расчету. М., МЭИ, 2003.

01.04.14

А.И. Самсонов, И.А. Самсонов

Московский государственный строительный университет,
Институт фундаментального образования, кафедра физики,
Москва, samson.45@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ПОЛИХРОМАТИЧЕСКОЙ ПИРОМЕТРИИ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

В работе представлены результаты исследования методов пирометрии, основанных на применении одной, двух и трех спектральных яркостей излучения, с целью измерения температуры с высокой инструментальной и методической точностью. Предложен способ коррекции полученной температуры за счет автоматического введения поправок на степень черноты излучения. Приведены результаты оценки погрешностей, полученных на разработанной пирометрической установке.

Ключевые слова: *пирометрия, спектральная яркость излучения, температура, степень черноты.*

Применение фундаментальных законов теплового излучения в строительной индустрии для оценки тепловых потерь зданий и сооружений, для мониторинга уровня температуры в наиболее напряженных участках строительных конструкций, для бесконтактного контроля и измерения температур в труднодоступных местах и в технологических процессах при производстве строительных и конструкционных материалов находит все большее значение.

В практике пирометрии используют формулу Вина, которую называют виновским приближением закона Планка [1]. Согласно приближению Вина можно записать для каждой спектральной яркости реального излучения в соответствующей длине волны λ_i выражение:

$$b_{\lambda_i,T} = \varepsilon_{\lambda_i,T} C_1 \lambda_i^{-5} \exp(-\frac{C_2}{\lambda_i T}). \qquad (1)$$

Здесь C_1 = 3,7413 10^{-16} Вт·м^2, C_2 = 1,4388 10^4 мкм·К – постоянные закона Планка. $\varepsilon_{\lambda i,T}$ – монохроматическая излучательная способность реального тела, которая зависит и от длины волны, и от температуры *T*.

В настоящей работе, метод пирометрических измерений предложенный в [2], был доработан с целью повышения инструментальной точности. Для этого была создана двухканальная пирометрическая установка (рис.1).

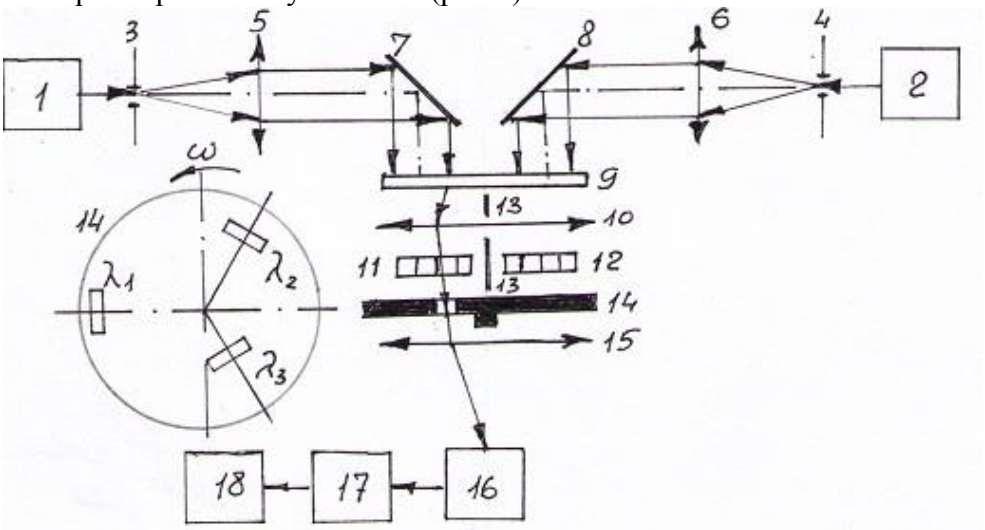


Рис. 1- Схема двухканальной пирометрической установки

В установке используют два источника излучения: 1 – излучение измеряемого объекта (в процессе градуировки по этому оптическому каналу используют излучение абсолютно черного тела - а.ч.т.), 2 – излучение вольфрамовой лампы, как эталон. Излучения 1 и 2 подают на входные щели 3 и 4, и далее на коллиматоры 5 и 6, которые формируют параллельные пучки лучей. После отражения лучей от зеркал 7 и 8, они попадают на диспергирующее устройство 9, в качестве которого использована пропускающая дифракционная решетка. Для изоляции одного пучка от другого использован экран 13. Диспергированное излучение пропускают через линзу 10 с маской в виде горизонтальных щелей, которая формирует две узкие полоски спектров излучения 11 и 12. Временная коммутация спектральных компонент производится вращающимся диском (обтюратором) 14 с тремя отверстиями, которые формирует за один оборот шесть импульсов света (рис. 2).

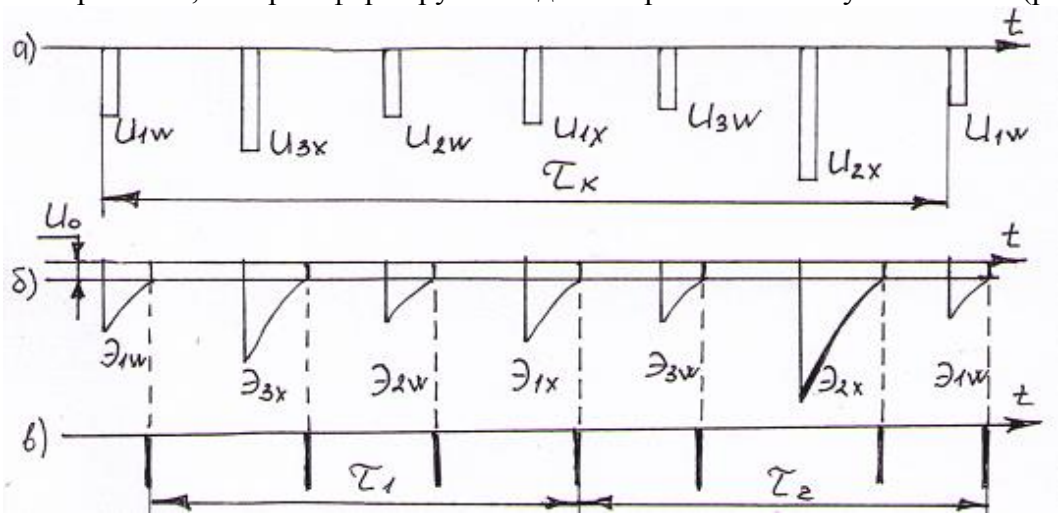


Рис. 2 – Временные диаграммы

После обтюратора световые импульсы собираются линзой 15 на фотокатоде приемника излучения 16, в качестве которого используют фотоэлектронный умножитель (ф.э.у.). Влияние нестабильности ф.э.у. в значительной степени снижается относительными измерениями. С выхода приемника излучения 16, сигналы в виде электрических импульсов, пропорциональных спектральным яркостям $b_{\lambda i,T}$ (рис. 2а) поступают на устройство 17, которое названо измерительной линейкой. Принцип действия измерительной линейки следующий. Электрические импульсы U_{1w}, U_{2w}, U_{3w} от вольфрамового излучателя и U_{3x}, U_{1x}, U_{2x} от измеряемого тела за один кадр (1 оборот обтюратора) в измерительной линейке интегрируют и получают сигналы с экспоненциальными задними фронтами: для вольфрама это – $Э_{1w}$, $Э_{2w}$, $Э_{3w}$, а для измеряемого тела – $Э_{1x}$, $Э_{2x}$, $Э_{3x}$ соответственно (рис. 2б). Затем выделяют моменты времени равенства экспоненциальных фронтов пороговому значению U_o и производят измерение временных интервалов τ_1 и τ_2 (рис. 2в).

Анализ сигналов полученных временных интервалов показал, что они пропорциональны логарифму отношения соответствующих спектральных яркостей [3]:

$$\tau_1 = \tau_Э \ln\frac{b_{1x}}{b_{1w}}. \qquad \tau_2 = \tau_Э \ln\frac{b_{1w}}{b_{1x}}. \qquad (2)$$

А их разность равна:

$$\Delta\tau = \tau_1 - \tau_2 = 2\tau_Э \ln\frac{b_{1x}}{b_{1w}}. \qquad (3)$$

Здесь $\tau_Э$ – постоянная времени интегрирующей цепи.

Окончательная обработка разности временных интервалов, с целью получения измеряемой температуры, производят как в аналоговом так и в цифровом виде в регистраторе 18.

Универсальная измерительная линейка 17 позволяет на одном устройстве реализовать различные способы измерения температуры, т.е. множество пирометров: яркостных,

цветовых - спектрального отношения, полихроматических - двойного спектрального отношения и т.д.

Подставив в (3) виновское приближение (1) получим формулу яркостного пирометра, измеряющего температуру неизвестного тела T_x в длине волны λ_1 при известных температуре вольфрамовой лампочки и излучательной способности вольфрама ε_{1W}, взятой из справочника [4].

$$\Delta\tau = 2\tau_Э\left(\frac{C_2}{\lambda_1}\left(T_W^{-1} - T_X^{-1}\right) + \ln\frac{\varepsilon_{1X}}{\varepsilon_{1W}}\right). \qquad (4)$$

Температуру вольфрамовой нити лампочки T_W получаем путем предварительной градуировки пирометрической установки по абсолютно черному телу, излучение которого является эталоном в пирометрии. Яркостные температуры для двух других длин волн получаем путем обработки остальных спектральных яркостей (рис.2а), используя формулу (4), и получив при этом еще два уравнения.

Для нахождения неизвестных значений монохроматических излучательных способностей сформируем так называемое двойное спектральное отношение входных яркостей, используя только импульсы U_{1X}, U_{2X} и U_{3X} (рис. 2а). После обработки этих сигналов вышеуказанным способом, разность временных интервалов будет равна:

$$\Delta\tau = 2\tau_Э\left(\frac{C_2}{\Lambda}\left(T_W^{-1} - T_{123X}^{-1}\right) + \ln\frac{\varepsilon_{1X}\varepsilon_{3X}}{\varepsilon_{2X}^2}\right). \qquad (5)$$

где T_{123X} – цветовая температура тела определяемая по трем спектральным компонентам, Λ – это эквивалентная длина волны способа двойного спектрального отношения равная:

$$\Lambda_4^{-1} = \lambda_1^{-1} + \lambda_3^{-1} - 2\lambda_2^{-1}. \qquad (6)$$

Подбором длин волн, например: λ_1 = 0,65мкм; λ_2 = 0,83мкм; λ_3 = 1,2мкм, мы добиваемся того, что эквивалентная длина волны Λ стремится к бесконечно большой величине. Тогда первое слагаемое в уравнении (5) обращается в ноль. Это значит, что соответствующий пирометрический сигнал, пропорциональный логарифму отношения трех спектральных яркостей, не зависит от температуры, а зависит только от ε_{1X}, ε_{2X}, и ε_{3X} - неизвестных монохроматических излучательных способностей тела. Уравнение (5) принимает вид:

$$\Delta\tau = 2\tau_Э \ln\frac{\varepsilon_{1X}\varepsilon_{3X}}{\varepsilon_{2X}^2}. \qquad (7)$$

Это выражение является недостающим для системы уравнений полученных по формуле (4), что позволяет найти в явном виде монохроматические излучательные способности в трех длинах волн, а затем найти три яркостных температуры. После усреднения результата измерений будет иметь наилучшее приближение к действительной температуре тела.

Проведенные градуировки пирометрической установки на модели а.ч.т., а затем проверка методической погрешности на вольфрамовом излучателе показали, что инструментальная и методическая погрешности в диапазоне 1200 – 2300 К не превышают 1% от измеряемой температуры.

Список литературы

1. *Свет Д.Я*. Оптические методы измерения истинных температур// М.: Наука, 1982., 298с
2. *Самсонов А.И.* Универсальная пирометрическая система// Научно – технический журнал «Вестник МГСУ», №4, 2011., с 329 – 333.
3. *Самсонов А.И., Самсонов И.А*. Повышение точности пирометрии излучения при производстве облицовочных строительных материалов// Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая. 2011. Вып. 4 (19).
4. *Латыев Л.Н., Петров В.А., Чеховской В.Я., Шестаков Е.Н.* Излучательные свойства твердых материалов. Справочник.// Под общей ред. А.Е. Шейндлина. М.: Энергия, 1974., 472 с.

01.02.05

Е.В. Субботин, Н.М. Труфанова д.т.н.

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

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕИЗОТЕРМИЧЕСКИХ ТЕЧЕНИЙ В РАБОЧИХ И ОХЛАЖДАЮЩИХ КАНАЛАХ ПЛАСТИЦИРУЮЩЕГО ЭКСТРУДЕРА

Предложена математическая модель процессов тепломассопереноса полимеров в каналах пластицирующего экструдера с учетом принудительного охлаждения шнека.

Ключевые слова: *математическая модель, экструдер, охлаждение.*

Одной из важнейших характеристик, определяющей качество конечного продукта, при пластицирующей экструзии является температура потока расплава в экструдере и формующем инструменте. Это имеет место при переработке полимеров, свойства которых существенно изменяются в условиях чрезмерного перегрева, например, таких как безгалогенные компаунды, не поддерживающие горение [1]. Экспериментальное исследование температурного поля в поперечном сечении рабочего канала экструдера является очень сложной технической задачей [2]. В связи с этим важнейшее значение приобретает теоретическое изучение влияния различных механизмов терморегуляции на процессы экструзии.

Задачу тепломассообмена в винтовом канале экструдера с учетом охлаждения шнека (см. рис.1) можно разделить на две части, связанные между собой общим итерационным алгоритмом.

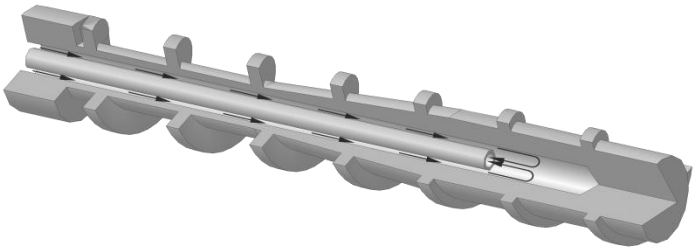


Рис. 1 – Схема жидкостного охлаждения шнека экструдера

Первая часть представляет собой пространственную математическую модель процессов тепломассопереноса полимера в рабочем канале одношнекового экструдера, охватывающую все функциональные зоны, начиная от зоны загрузки и заканчивая зоной дозирования, и учитывающую: нелинейность свойств материала; вынужденную конвекцию расплава полимера в условиях фазового перехода; влияние потока утечек расплава полимера через зазор между гребнем нарезки червяка и внутренней поверхностью цилиндра [3].

Вторая часть описывает задачу определения температурного поля в шнеке и, прилегающем к нему, тонком слое полимера с учетом неизотермического течения жидкого теплоносителя в канале охлаждения (см. рис. 2).

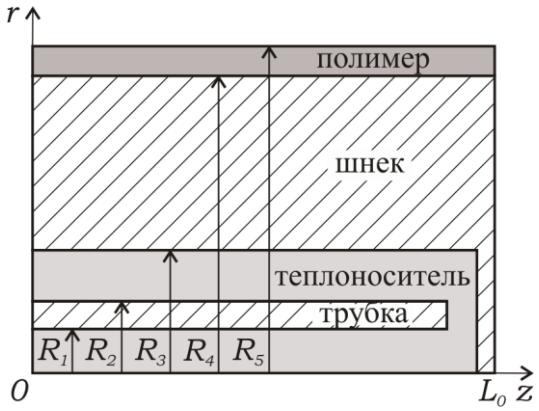


Рис. 2 – Схема расчета теплообмена в шнеке с учетом охлаждения

На рис. 2: R_1, R_2 – соответственно внутренний и внешний радиусы трубки; R_3 – радиус внутреннего отверстия в шнеке; R_4 – внешний радиус шнека; R_5 – внешний радиус полимерного слоя; L_0 – длина шнека.

Полимерный слой считается неподвижным, а его толщина равна шагу расчетной сетки по высоте рабочего канала экструдера. Обладающий высоким значением коэффициента теплопроводности шнек, заменяется полым толстостенным стальным цилиндром без гребней, внутренний и внешний диаметры которого постоянны по длине. Течение в канале охлаждения шнека считается ламинарным, установившимся, осесимметричным, при отсутствии массовых сил.

Поставленная задача в цилиндрических координатах описывается следующей системой дифференциальных уравнений:

$$\frac{1}{r}\frac{\partial(r\upsilon_r)}{\partial r}+\frac{\partial \upsilon_z}{\partial z}=0,$$

$$\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(r\left\{2\mu_т\frac{\partial \upsilon_r}{\partial r}\right\}\right)-\frac{2}{r^2}\mu_т\upsilon_r+\frac{\partial}{\partial z}\left[\mu_т\left(\frac{\partial \upsilon_z}{\partial r}+\frac{\partial \upsilon_r}{\partial z}\right)\right]=\frac{\partial P}{\partial r}+\rho_т\left(\upsilon_r\frac{\partial \upsilon_r}{\partial r}+\upsilon_z\frac{\partial \upsilon_r}{\partial z}\right),$$

$$\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left[r\mu_т\left(\frac{\partial \upsilon_z}{\partial r}+\frac{\partial \upsilon_r}{\partial z}\right)\right]+\frac{\partial}{\partial z}\left(2\mu_т\frac{\partial \upsilon_z}{\partial z}\right)=\frac{\partial P}{\partial z}+\rho_т\left(\upsilon_r\frac{\partial \upsilon_z}{\partial r}+\upsilon_z\frac{\partial \upsilon_z}{\partial z}\right),$$

$$\rho_т C_т\left(\upsilon_r\frac{\partial T}{\partial r}+\upsilon_z\frac{\partial T}{\partial z}\right)=\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(\lambda_т r\frac{\partial T}{\partial r}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(\lambda_т\frac{\partial T}{\partial z}\right)+\mu_т\frac{I_2}{2},$$

$$\frac{I_2}{2}=2\left[\left(\frac{\partial \upsilon_r}{\partial r}\right)^2+\left(\frac{\partial \upsilon_z}{\partial z}\right)^2+\left(\frac{\upsilon_r}{r}\right)^2\right]+\left(\frac{\partial \upsilon_z}{\partial r}+\frac{\partial \upsilon_r}{\partial z}\right)^2,$$

$$G_0=2\pi\rho_т\int_{R_2}^{R_3}\upsilon_z r dr,$$

$$\frac{\lambda_п}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(r\frac{\partial T}{\partial r}\right)+\lambda_п\frac{\partial^2 T}{\partial z^2}=0,$$

$$\frac{\lambda_ш}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(r\frac{\partial T}{\partial r}\right)+\lambda_ш\frac{\partial^2 T}{\partial z^2}=0,$$

где r, z – радиальная и продольная цилиндрические координаты; υ_r, υ_z – составляющие вектора скорости; P – давление; T – температура; $\mu_т$, $\rho_т$, $C_т$, $\lambda_т$ – соответственно вязкость плотность, теплоемкость и коэффициент теплопроводности охлаждающей среды;

I_2 – квадратичный инвариант тензора скоростей деформации; $\lambda_п$, $\lambda_ш$ – коэффициенты теплопроводности слоя полимера и материала шнека соответственно.

В представленной модели для охлаждающей среды используются температурные зависимости теплоемкости, вязкости и коэффициента теплопроводности. Плотность жидкости, а также коэффициенты теплопроводности шнека и полимера постоянны.

На входе в охлаждающий канал задается температура теплоносителя, которая совместно с расходом определяет интенсивность отвода тепла. Распределение температуры на верхней границе слоя полимера (см. рис. 2) задается из решения задачи пластицирующей экструзии [3]. Три другие внешние границы расчетной схемы (см. рис. 2) являются адиабатическими. На границах контакта материалов с разными теплофизическими характеристиками задаются условия равенства температур и тепловых потоков.

Для составляющих скоростей внутри канала охлаждения задаются условия прилипания жидкости к твердым непроницаемым поверхностям.

Задача определения температурного поля в шнеке и прилегающем к нему тонком слое полимера с учетом неизотермического течения жидкого теплоносителя в канале охлаждения решается методом конечных элементов в пакете ANSYS.

Расчет процессов тепломассообмена высоковязких нелинейных полимерных сред в рабочем канале пластицирующего экструдера, с учетом охлаждения шнека осуществляется поэтапно, с помощью итерационной процедуры.

На первом этапе решается пространственная задача тепломассопереноса полимера в винтовом канале одношнекового экструдера, при этом для первой итерации температурный профиль шнека рассчитывается по уравнению, предложенному Элберли и Линдтом в работе [4].

В результате получаем поля температур, компонент скорости, изменение давления и градиента давления по всем зонам экструдера. Зная температурные поля в поперечных сечениях рабочего канала экструдера, можно рассчитать распределение температуры в тонком слое полимера, прилегающем к шнеку, которое является граничным условием для задачи тепломассообмена в шнеке с учетом охлаждения. Решение поставленной задачи позволяет получить изменение температуры на границе полимер-шнек, которое необходимо для начала следующей итерации. Данный циклический процесс продолжаются до установления температурного профиля на границе полимер-шнек.

Для проверки итерационного алгоритма и верификации математической модели процессов плавления и течения высоковязких нелинейных полимерных материалов в винтовом канале экструдера с учетом принудительного охлаждения шнека проводилось сравнение с экспериментом по определению температуры шнека [5].

Сравнительный анализ показал, что максимальное различие между численными и экспериментальными данными не превышает 7%, в отличие от результатов, полученных по уравнению Элберли и Линдта, где расхождение достигает 20% (см. рис. 3).

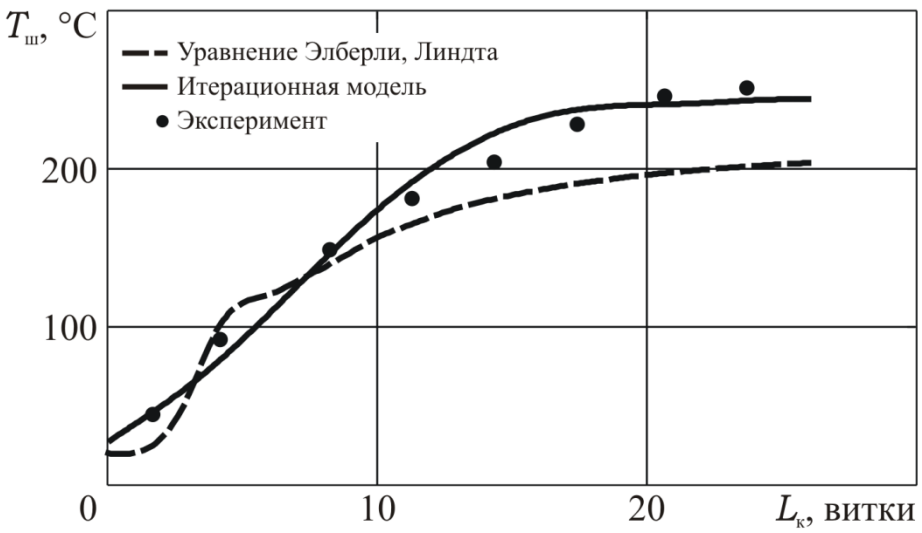


Рис. 3 – Изменение температуры шнека по длине

Таким образом, предложенная математическая модель достаточно адекватно описывает процессы тепломассообмена полимера в рабочем канале пластицирующего экструдера с учетом принудительного охлаждения шнека.

Список литературы

1. *Лина В., Чамов А.В.* Экструзия полимеров, не поддерживающих горение // Кабели и провода. – 2003. – №6 (283). – С. 16–20.
2. *Kelly A.L., Brown E.C., Howell K., Coates P.D.* Melt temperature field measurements in extrusion using thermocouple meshes // Plastics, Rubber and Composites. – 2008. – V. 37. – № 2/3/4. – P. 151–157.
3. *Щербинин А.Г., Труфанова Н.М., Янков В.И.* Пространственная математическая модель одночервячного пластицирующего экструдера. Сообщение 1. Математическая модель процесса тепломассопереноса полимера в канале экструдера // Пластические массы. – 2004. – № 6. – С. 38–41.
4. *Elbirli B., Lindt J.T., Gottgetreu S.R., Baba S.M.* Mathematical modeling of melting of polymers in a single-screw extruder // Polymer Engineering & Science – 1984. – V.24. – № 12. – P. 988 – 999.
5. *Терлыч А.Е., Щербинин А.Г., Труфанова Н.М.* Экспериментальное исследование температурных режимов экструзионного оборудования // Информационные управляющие системы. – 2002. – С. 131–134.

01.04.07

[1]В.С. Темников, [2]С.В. Ланкин д.ф.-м.н.

[1]Амурский государственный университет, инженерно-физический факультет, кафедра «Физики», Благовещенск, temnikov_vs@mail.ru
[2]Благовещенский государственный педагогический университет, физико-математический факультет, кафедра «Физики и методики обучения физике», Благовещенск, svlankin@yandex.ru

ОСОБЕННОСТИ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ЧИСТОГО ГАЛЛИЯ ИЗ ПЕРЕОХЛАЖДЕННОГО СОСТОЯНИЯ

Предложен новый подход в исследовании кристаллизации веществ из переохлажденной жидкой фазы. Показана возможность получения управляемого перегревом переохлаждения расплава. Получены экспериментальные данные по тепловыделению чистого галлия при различных температурах переохлаждения.

Ключевые слова: *анизотропный термоэлемент, калориметр, переохлажденный расплав, скорость кристаллизации.*

Анализ процессов зарождения кристаллов необходим для выяснения причин возникновения значительных переохлаждений при затвердевании веществ, а также потому, что эти процессы оказывают сильное влияние на формирующуюся при кристаллизации структуру литого металла, что представляет значительный интерес для производства.

Несмотря на то, что закономерности процесса кристаллизации хорошо известны [1, 2], задача математического моделирования процесса кристаллизации расплава имеет удовлетворительное решение только для частного случая в отсутствии переохлаждения. Решение такой задачи в общем случае затруднено: возникают сложности как при учете механизмов отвода тепла от растущего кристалла, так и при получении достоверных экспериментальных данных о возникновении и развитии зародышей твердой фазы.

Цель настоящей работы состояла в исследовании процесса кристаллизации чистого вещества на примере галлия из переохлажденной жидкой фазы при помощи тепломера на анизотропных термоэлементах (АТЭ). Задача эксперимента заключалась в получении информации о развитии зародышей твердой фазы при затвердевании расплава по тепловыделению, сопровождающему кристаллизацию расплава.

Обычно время кристаллизации расплава из переохлажденного состояния до снятия переохлаждения составляет сотые доли секунды, что намного меньше постоянной времени современных промышленных калориметрических систем. В связи с этим возникает невозможность наблюдения неравновесной кристаллизации с помощью классических калориметрических систем [3]. Поэтому для проведения исследования использовался датчик теплового потока, созданный на основе АТЭ из чистого висмута и обладающий постоянной времени меньшей, чем время кристаллизации расплава из переохлажденного состояния до снятия переохлаждения [4].

На рис. 1 приведена схема оригинальной экспериментальной установки на базе твердотельного микрохолодильника Пельтье и плоского датчика теплового потока на АТЭ [5]. Тепловой контакт образца *3* с тепломером *2* осуществлялся через тонкую слюдяную пластинку *1*, приклеенную к тепломеру, размещенному на твердотельном микрохолодильнике *6*. Температура образца контролировалась медь-константановой термопарой *4*. Измерительная часть установки защищена от внешних воздействий при помощи внешней оболочки *5*, поэтому отвод большей части тепла от образца происходил через тепломер к радиатору 7.

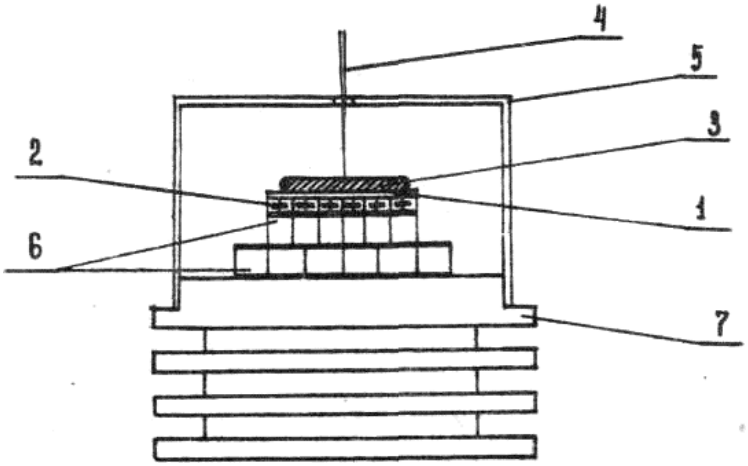


Рис. 1 – Схема установки

Сигнал с тепломера и термопары подавался на предварительный усилитель сигнала и регистрировался с помощью аналогово-цифрового преобразователя (АЦП) ZET 220, сопряженного с ПК. При включении холодильника, тепловая мощность q, проходящая через тепломер пропорциональна эдс E, генерируемой тепломером:

$$q(t) = \frac{1}{k_U S_0} \cdot E(t), \tag{1}$$

где k_U – коэффициент усиления предусилителя по напряжению, S_0 – вольт-ваттная чувствительность тепломера, которая равна эдс развиваемой анизотропным термоэлементом при прохождении через него единицы тепловой мощности.

Наиболее распространенными методами влияния на структуру веществ являются подбор оптимальной скорости охлаждения, введение в расплав катализаторов зарождения и вибрация отливки.

Рассмотрим процесс образования твердой фазы из расплава для случая чистых веществ. В условиях равновесия новая фаза возникает сначала в микроскопических размерах, без предварительного изменения макроскопических параметров состояния. Процесс образования зародышей определяется флуктуациями внутри термодинамической системы, в результате которых образуются «комплексы» атомов, имеющие структуру твердой фазы. До тех пор, пока все такие комплексы по размеру остаются меньше критического, соответствующего температуре жидкости, они не могут разрастаться в кристалл, и твердое тело не образуется. Критерием того, произойдет ли в жидкости при данной температуре зарождение или она сама сохранится в метастабильном состоянии, служит соотношение размеров самого крупного комплекса и критического зародыша.

Решающим фактором в зарождении кристаллов является наличие центров кристаллизации. Чтобы обеспечить переохлаждение, необходимо устранить из расплава зародыши твердой фазы. Это достигается путем предварительного нагрева жидкости выше температуры плавления. В качестве модельного материала для исследования процесса кристаллизации был выбран галлий, имеющий температуру плавления 29,8 °С. Образцы выплавлялись в форме капель массой 100 мг. Экспериментальные данные по зависимости температуры переохлаждения жидкого галлия от температуры перегрева выше точки плавления представлены на рис. 2.

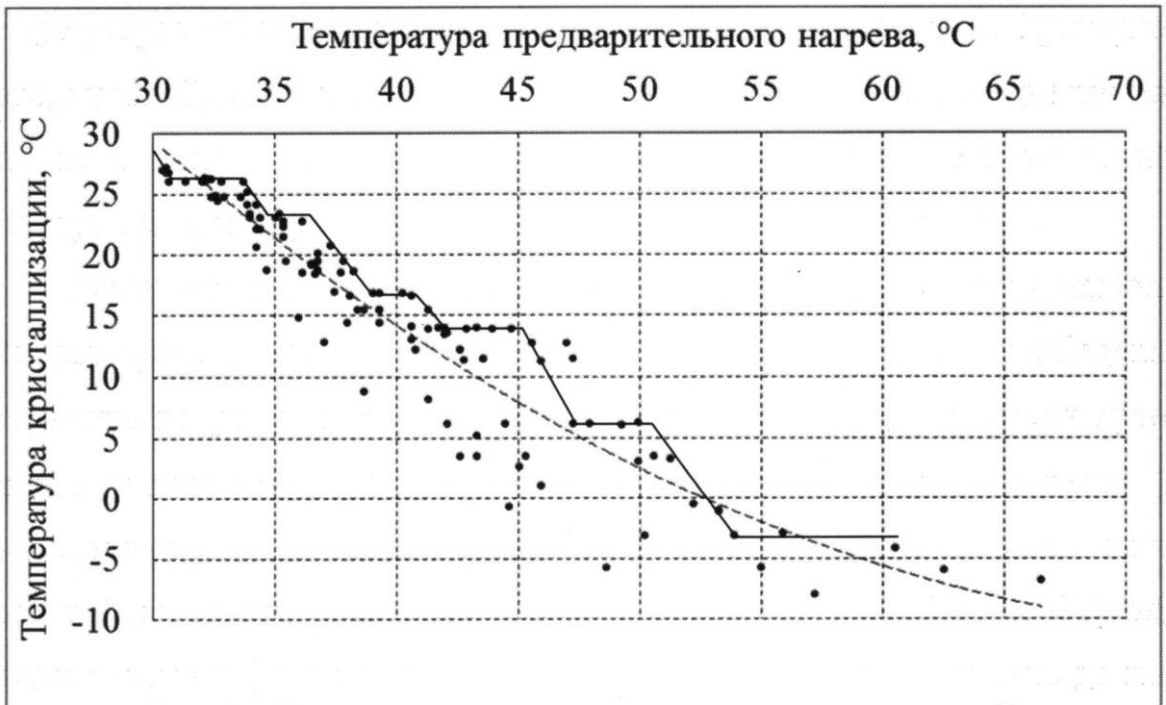


Рис. 2 – Влияние предварительного нагрева жидкого Ga выше точки плавления на переохлаждение расплава

Судя по графику, чем выше температура предварительного нагрева жидкого галлия, тем больше вероятность того, что при остывании жидкость испытывает переохлаждение. В условиях проводимого эксперимента представлялось затруднительным контролировать скорость охлаждения расплава, которая играет весьма существенную роль в процессах зарождения. При высокой скорости охлаждения образование центров кристаллизации происходит не одновременно во всем расплаве из-за того, что не вся жидкость находится при одной и той же температуре. Наоборот, в условиях квазистационарного охлаждения температура кристаллизации переохлажденного расплава меняется скачкообразно (сплошная линия на рис. 2). Такой характер зависимости, вероятно, объясняется разрушением зародышей твердой фазы фиксированного размера при определенной температуре в нагретой жидкости. Таким образом, изменяя температуру перегрева и скорость охлаждения можно управлять температурой переохлаждения.

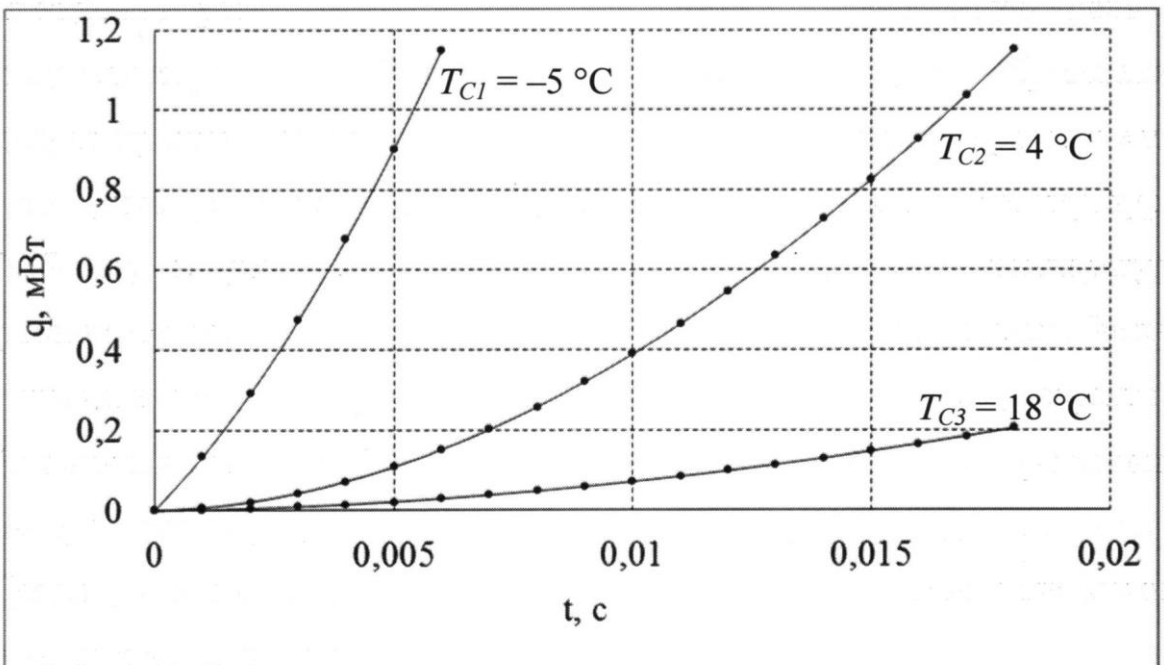


Рис. 3 - Тепловыделение 100 мг Ga при кристаллизации из переохлажденного жидкого состояния

По тепловыделению, сопровождающему кристаллизацию образца можно судить о скорости роста массы зародышей твердой фазы. На рис. 3 приведены зависимости от времени тепловой мощности, проходящей через тепломер на начальном этапе кристаллизации переохлажденного галлия при различных температурах переохлаждения T_C ниже точки плавления.

Скорость роста массы твердой фазы, образующейся в процессе кристаллизации, напрямую связана с тепловой мощностью, сопровождающей кристаллизацию. Рост массы твердой фазы на начальном этапе кристаллизации происходит нелинейно. Исходя из полученных зависимостей, величина переохлаждения определяет начальный рост массы твердой фазы. Таким образом, предложенный метод позволяет исследовать кинетику быстропротекающих тепловых процессов.

Список литературы

1. *Вайнгард У.* Введение в физику кристаллизации металлов. Пер. с англ.; под ред. Я.С. Уманского: – М: Изд-во «Мир», 1967. – 159 с.
2. Кристаллизация из расплавов: Справ. изд. Пер с нем. / Бартел И., Буриг Э., Хайн К., Кухарж Л.: - М.: Металлургия, 1987. – 320 с.
3. *Кальве Э., Прат А.* Микрокалориметрия. - М.: Издательство иностранной литературы, 1963. – 477 с.
4. *Дивин Н.П., Иванов Г.А., Грабов В.М., Петров Д.В., Гвоздев А.Г.* Быстродействующий микрокалориметр на анизотропных термоэлементах. Информ. Лист №824-889, Л., ЦНТИ, 1989, 4с.
5. *Темников В.С., Гвоздев А.Г., Ланкин С.В.* Быстродействующий датчик теплового потока на анизотропных термоэлементах. Вестник Амурского государственного университета. – Благовещенск: Изд-во АмГУ, 2011. – Вып. 53. – С. 49-56.

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

02.00.04

А.А. Степачёва, Л.Ж. Никошвили к.х.н., М.Е. Григорьев к.х.н., А.В. Быков к.х.н., Н.В. Лакина к.х.н., Э.М. Сульман д.х.н.

Тверской государственный технический университет,
химико-технологический факультет, кафедра Биотехнологии и химии,
Тверь, science@science.tver.ru

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОДЕОКСИГЕНИРОВАНИЯ СТЕАРИНОВОЙ КИСЛОТЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ЧАСТИЦ ПАЛЛАДИЯ

Проведено исследование кинетических закономерностей процесса гидродеоксигенирования стеариновой кислоты с использованием наночастиц палладия, импрегнированных в полимерную матрицу сверхсшитого полистирола. Рассчитана кажущаяся энергия активации, определен порядок реакции, а так же представлена кинетическая модель реакции гидродеоксигенирования.

Ключевые слова: *гидродеоксигенирование, кинетика, биодизель.*

Гидродеоксигенирование жирных кислот и их производных – одно из перспективных направлений для получения биодизельного топлива второго поколения в форме насыщенных углеводородов. Реакция деоксигенирования – это процесс удаления кислорода карбоксильной группы жирных кислот и их производных, который может быть осуществлен по трем возможным механизмам:

- декарбоксилирование – процесс удаления молекулы углекислого газа CO_2 из молекулы карбоновой кислоты [1];
- декарбонилирование – процесс удаления молекулы монооксида углерода CO из молекулы карбоновой кислоты, с последующей дегидратацией образующихся спиртов [2];
- гидрирование – процесс восстановления карбоксильной группы под действием водорода, который протекает последовательно через стадии образования альдегидов, спиртов и углеводородов [2].

Гидродеоксигенирование является частным случаем реакции деоксигенирования и протекает под действием водорода в присутствии гетерогенного катализатора. Схема путей протекания реакции гидродеоксигенирования стеариновой кислоты представлена на рисунке 1.

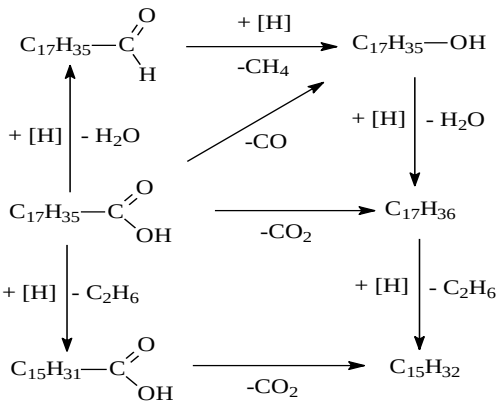


Рис. 1 – Схема гидродеоксигенирования стеариновой кислоты

Недавние исследования [3-5] показали, что наиболее активной каталитической системой для процесса гидродеоксигенирования жирных кислот являются частицы палладия нанесенные на различные неорганические носители (Al_2O_3, C). Однако использование таких систем сопряжено с некоторыми трудностями, в частности, с потерей каталитической активности, связанной с вымыванием активного металла и дезактивацией поверхности. Разработка новых полимерстабилизированных каталитических систем на основе наночастиц палладия может стать одним из путей решения данной проблемы.

Материалы и методы

Наноструктурированные частицы палладия были синтезированы методом импрегнирования раствора $Na_2[PdCl_4]$ в полимерную матрицу сверхсшитого полистирола марки MN-270 (Purolite, Великобритания) с последующим восстановлением активного металла водородом. Расчетное содержание палладия в металлополимере составляло 1% (масс.).

Процесс гидродеоксигенирования стеариновой кислоты (99%, ХимМедСервис, Россия) осуществляли в стальном реакторе полупериодического действия PARR – 4307 (PARR Instrument, США). В качестве растворителя использовали додекан (99.9%, Sigma-Aldrich, США), как один из компонентов биодизельного топлива второго поколения. В ходе эксперимента варьировали следующие параметры: скорость перемешивания – 400 – 700 об/мин, размер гранул катализатора – 60 – 100 μм, температура процесса – 230 – 255°C, давление водорода – 0.2 – 1.8 МПа, концентрация раствора стеариновой кислоты в додекане – 0.05 – 0.2 М.

Анализ проб жидкой фазы осуществлялся методом газовой хроматомасс-спектрометрии с помощью хроматографа GC-2010 и масс-спектрометра GCMS-QP2010S (SHIMADZU, Япония).

Результаты и их обсуждение

Для изучения кинетики процесса гидродеоксигенирования стеариновой кислоты с использованием каталитической системы 1%-Pd/СПС необходимо исключить внешнедиффузионные торможения на границах раздела газ-жидкость-твердое тело. Исследование зависимости скорости реакции от интенсивности перемешивания позволяет установить область протекания реакции. Было обнаружено, что с увеличением скорости перемешивания от 460 до 600 оборотов мешалки в минуту происходит линейный рост скорости реакции. При дальнейшем увеличении интенсивности перемешивания скорость гидродеоксигенирования субстрата перестает зависеть от числа оборотов мешалки в минуту.

Для того, чтобы предотвратить внутридиффузионное торможение было изучено влияние размера гранул катализатора на скорость гидродеоксигенирования стеариновой кислоты. Было найдено, что с уменьшением диаметра гранул от 100 до 70 μм происходит линейный рост скорости реакции. При дальнейшем уменьшении диаметра скорость гидродеоксигенирования субстрата перестает зависеть от размера гранул катализатора.

По данным влияния температуры на процесс гидродеоксигенирования в кинетическом режиме (700 об/мин) была построена аррениусовская зависимость в координатах $ln1/\tau_{0.2} \sim 1/T$, (рис. 2), по тангенсу угла наклона которой была рассчитана кажущаяся энергия активации, которая составила 85 кДж/моль для системы 1%-Pd/СПС.

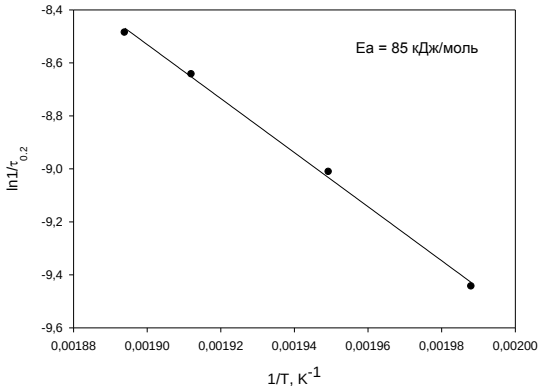


Рис. 2 – Зависимость $ln1/\tau_{0.2} \sim 1/T$ для системы 1%-Pd/СПС

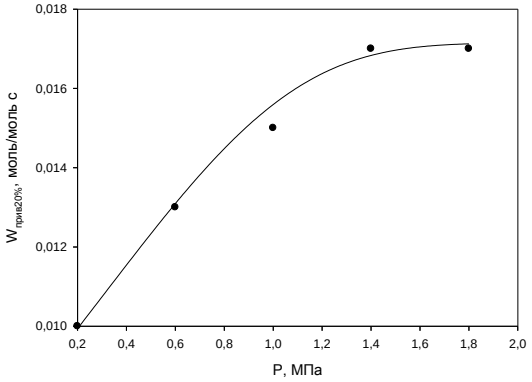


Рис. 3 – Зависимость приведенной скорости от давления водорода

Для изучения влияния давления на процесс гидродеоксигенирования жирных кислот были проведены эксперименты с использованием каталитической системы 1%-Pd/СПС. По экспериментальным данным была рассчитана приведенная скорость процесса при 20% конверсии субстрата и были построены зависимости скорости от давления, приведенные на рисунке 3. Приведенная скорость растет практически линейно в зависимости от давления. При давлении выше 1.4 МПа скорость реакции практически постоянна, однако, при давлении выше 0.6 МПа снижается селективность процесса по н-гептадекану. Таким образом, можно предположить, что при повышении давления выше 0.6 МПа возрастает скорость побочных реакций, таких как крекинг.

В качестве критерия, позволяющего оценить зависимость конверсии субстрата от времени при различных C_0 и C_{Me}, использовалось их отношение, представленное формулой 1.

$$q = \frac{C_0}{C_{Me}} \tag{1}$$

где q – соотношение моль субстрата/моль катализатора; C_0 – начальная концентрация субстрата, моль; C_{Me} – концентрация металла, моль.

Данные по влиянию концентрации субстрата на активность и селективность синтезированной Pd-содержащей наносистемы представлены в таблице.

Таблица – Влияние C_0 на активность и селективность наночастиц Pd

C_0, моль/л	q, моль/моль	$W_{прив\ 20\%}$, моль СК/(моль Pd·с)	Селективность (конверсия), % (τ = 220 мин)
0.05	161	0.010	98.6 (100)
0.10	322	0.013	98.9 (87.9)
0.15	484	0.015	99.0 (58.6)
0.20	645	0.017	99.0 (43.9)

На основании полученных экспериментальных данных было рассчитано время полупревращения субстрата ($\tau_{0.5}$) и установлена линейная зависимость $ln\,\tau_{0.5}$ от lnq. На основании полученной зависимости было найдено, что n ≈ 1.

Данные, полученные в ходе изучения кинетики реакции селективного гидродеоксигенирования стеариновой кислоты с использованием системы 1%-Pd/СПС, легли в основу выбора кинетической модели (формула 2), а варьирование параметров проведения процесса позволило определить оптимальные условия, обеспечивающие достижение наибольшей селективности и активности: интенсивность перемешивания 700 об/мин; размер гранул катализатора – 70 μм; t = 255 ^{o}C; давление водорода – 0.6 МПа; концентрация стеариновой кислоты – C_0 = 0.1 моль/л.

$$W = \frac{KX_1}{X_1 + QX_2}, \quad (2)$$

где W – скорость реакции; К – кинетический параметр; X_1, X_2 – концентрация субстрата и продукта соответственно; Q – адсорбционный параметр, учитывающий адсорбцию продукта и субстрата на металлополимере.

Благодарим Российский фонд фундаментальных исследований (грант 12-08-00024-а) за финансовую поддержку.

Список литературы

1. *Рубанова Р.А., Паршин Г.Ю., Бутов Г.Н.* Карбоновые кислоты и их производные: Методические указания. – Волгоград: Волгоград.гос.техн. ун-т, 2005. – 16 с.
2. *Дядченко В.П., Трушков И.В., Брусова Г.П.* Синтетические методы органической химии. – М.: МГУ им. М.В. Ломоносова, 2004. – 148 с.
3. *Snare M., Kubickova I., Maki-Arvela P., Eranen K., Murzin D.Yu.* Heterogeneous catalytic deoxygenation of stearic acid for production of biodiesel // Ind. Eng. Chem. Res. – 2006. – Vol. 45. - № 16.
4. *Immer J.G., Kelly M.J., Estabrook B.D., Lamb H.H.* Catalytic deoxygenation of stearic and oleic acids over Pd/C // 21th North American Catalysis Society Meeting. – USA, Minneapolis. – 2009. – Book of abstract.
5. *Li L., Coppola E., Rine J., Miller J.L., Walker D.* Catalytic hydrothermal conversion of triglycerides to non-ester biofuels // Energy Fuels. – 2010. – Vol. 24. – P. 1305 – 1315.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

05.13.06

А.И. Акимов

Оренбургский Государственный Педагогический Университет,
физико-математический факультет, кафедра математического анализа и МПМ,
Оренбург, akimov_ia@mail.ru

МАТРИЧНЫЙ МЕТОД РЕШЕНИЯ КОМПЛЕКСИРОВАННЫХ ЗАДАЧ ТЕПЛООБМЕНА, МАССООБМЕНА И ТЕРМОНАПРЯЖЕНИЙ В МНОГОСЛОЙНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ С ФАЗОВЫМИ ПЕРЕХОДАМИ

В работе представлены результаты изучения влияний теплофизических параметров (температура, длительность времени, скорости роста и убывания температуры, фазовые переходы, изменение градиента массы, термонапряжения и технологические напряжения, химическая усадка) на механические свойства композиционных материалов для летательных аппаратов. Приводится матричный метод решения комплексированных задач теплообмена, массообмена и термонапряжений для разработки систем управления производством композиционных материалов в установках автоматического ведения технологического процесса (АВТП).

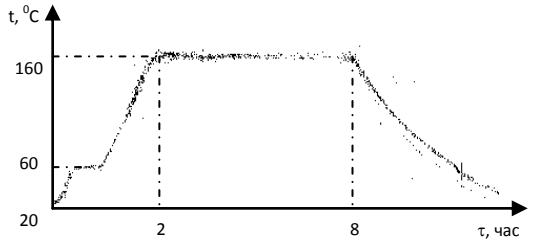
Ключевые слова: *композиционные материалы, термонапряжения, градиент массы, фазовые переходы, установки АВТП.*

Композиционные материалы представляют собой сплошные неоднородные структуры, состоящие из двух или более составляющих. Среди составляющих выделяют армирующие элементы, придающие необходимые механические свойства и связующие, соединяющие армирующие материалы.

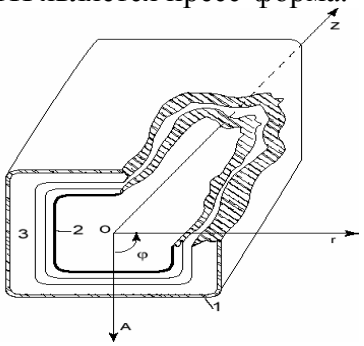
Применение композиционных материалов в различных областях обусловлено их высокими показателями на удельную прочность, жесткость, легкость, износоустойчивость и другими показателями.

В авиационной промышленности, космической технике и в других областях широко используют композиционные материалы. Однако, в связи с возрастающими требованиями к прочностным характеристикам, становится актуальным детальные исследования физико-химических процессов, происходящих при их изготовлении методом полимеризации для разработки систем управления производством композиционных материалов.

В работе приводятся постановка и решения комплексированных задач теплообмена, массообмена и термонапряжениях для первого этапа производства многослойных композиционных материалов в установках АВТП методом полимеризации для лонжеронов лопастей вертолётов и ветроэнов. Частью установки АВТП является пресс-форма.



«Рис.» 1



«Рис.» 2

На первом этапе(1,5-2 часа) математическая модель процесса в цилиндрической системе координат для многослойных конструкций, изображенной на («Рис» 1, «Рис» 2), имеет вид [1]:

$$\frac{1}{a_k}\frac{\partial t_k(r,\tau)}{\partial \tau}=\frac{\partial^2 t_k(r,\tau)}{\partial r^2}+\frac{1}{r}\frac{\partial t_k(r,\tau)}{\partial r}+\frac{1}{b_k}\frac{\partial m_k(r,\tau)}{\partial r}+f_k(r,\tau); \quad (1)$$

$$\frac{1}{c_k}\frac{\partial m_k(r,\tau)}{\partial \tau}=\frac{\partial^2 m_k(r,\tau)}{\partial r^2}+\frac{1}{r}\frac{\partial m_k(r,\tau)}{\partial r}+h_k(r,\tau); \quad (2)$$

$$\frac{\partial^2 u_k(r,\tau)}{\partial r^2}+\frac{1}{r}\frac{\partial u_k(r,\tau)}{\partial r}-\frac{u_k(r,\tau)}{r^2}=\frac{k(1+\mu)}{1-\mu}\frac{\partial t_k(r,\tau)}{\partial r}; \quad (3)$$

$$R_{k-1}(\varphi)<r<R_k(\varphi) \text{ для } k=1,2,\ldots.n,$$

при начальных условиях

$$t_k(r,0)=t_0\ ; \quad (4)$$

$$m_k(r,0)=m_0\ ; \quad (5)$$

$$u_k(r,0)=0\ ; \quad (6)$$

и при граничных условиях:

- между внутренней поверхностью плит пресс-формы с внешней поверхностью n - слойной конструкции

$$t_n(R_n(\varphi),\tau)+\frac{\lambda_n}{\alpha_n}\frac{\partial t_n(R_n(\varphi),\tau)}{\partial n}=P_n(\varphi,\tau); \quad (7)$$

$$m_n(R_n(\varphi),\tau)+\frac{\chi_n}{\beta_n}\frac{\partial m_n(R_n(\varphi),\tau)}{\partial n}=0; \quad (8)$$

$$U_n(R_n(\varphi),\tau)=U_0; \quad (9)$$

- между слоями n - слойной конструкции

$$t_{k-1}(R_{k-1}(\varphi),\tau)=t_k(R_{k-1}(\varphi),\tau); \quad (10)$$

$$m_{k-1}(R_{k-1}(\varphi),\tau)=m_k(R_{k-1}(\varphi),\tau);\ \ k=2,\ldots,n; \quad (11)$$

$$U_{k-1}(R_{k-1}(\varphi),\tau)=U_k(R_{k-1}(\varphi),\tau); \quad (12)$$

- между технологическим мешком и первым внутренним слоем n - слойной конструкции

$$t_1(R_0(\varphi),\tau)-\frac{\lambda_1}{\alpha_1}\frac{\partial t_1(R_0(\varphi),\tau)}{\partial n}=P_0(\varphi,\tau); \quad (13)$$

$$m_2(R_1(\varphi),\tau)-\frac{\chi_2}{\beta_2}\frac{\partial m_2(R_1(\varphi),\tau)}{\partial n}=0; \quad (14)$$

$$U_1(R_0(\varphi),\tau)=U_0; \quad (15)$$

потоки тепла и массы на границе слоев в направлении, перпендикулярном к изотермической поверхности, равны

$$\lambda_{k-1}\frac{\partial t_{k-1}(R_{k-1}(\varphi),\tau)}{\partial n}=\lambda_k\frac{\partial t_k(R_{k-1}(\varphi),\tau)}{\partial n}; \quad (16)$$

$$æ_{k-1}\frac{\partial m_{k-1}(R_{k-1}(\varphi),\tau)}{\partial n}=æ_k\frac{\partial m_k(R_{k-1}(\varphi),\tau)}{\partial n}; \quad (17)$$

где a_k, λ_k, α_k – коэффициенты температуропроводности, теплопроводности и теплопередачи, соответственно; $c_k, æ_k, \beta_k$ – коэффициенты проводности потенциала массы, массопередачи и массоотдачи, W - доля жидкого состояния рассматриваемой среды (при затвердевании вещества); γ - плотность этой части среды; σ - скрытая теплота кристаллизации; τ - время; x - пространственная координата; t_k - температура области $D_{K,\tau}$, k = 1,2; m_k – объёмная концентрация k-ого компонента; u_k- поле скоростей или деформации.

Отметим, что в задаче (1)-(17) описываются взаимосвязанные процессы теплообмена, массообмена и термонапряжений. Уравнение теплопроводности (1) содержит наряду с источниками тепла $f(r,\tau)$ слагаемые, обусловленное тепловыделениями за счет градиента m_k и дополнено соответствующими уравнениям (2) и (3), где μ – безразмерный коэффициент, характеризующий свойства термонапряжений.

Рассмотрим осесимметричный случай.

Систему уравнений запишем в векторной форме:

$$(L_{\tau,k} + L_{r,k})\overline{U}_k = F_{1,k}; \tag{18}$$

где L_τ, L_r - матричные дифференциальные операторы по τ и r соответственно;

$$\overline{U}_k = \begin{pmatrix} t_k \\ m_k \\ U_k \end{pmatrix}; \quad F_{1,k}(r,\tau) = \begin{pmatrix} f_k(r,\tau) \\ h_k(r,\tau) \\ 0 \end{pmatrix},$$

при начальном условии $\overline{U}_k(r,0) = \overline{U}_0$

и при граничных условиях (7) - (9), (13) - (15).

Условия непрерывности (10) - (12) и обмена между слоями (16), (17) обеспечивают существование единственного решения. Используем метод конечных интегральных преобразований (с помощью функции Грина). Предварительно преобразуем исходную задачу к задаче с однородными граничными условиями. Введем вспомогательную функцию:

$$\overline{V}_k(x,\tau) = \overline{U}_k(x,\tau) - \overline{W}_k(x,\tau). \tag{19}$$

Функции $\overline{W}_k(x,\tau)$ находятся классическим способом [2]. В результате задача принимает вид:

$$(L_{\tau,k} - L_{r,k})\overline{V}_k = (L_{\tau,k} + L_{r,k})\overline{W}_k + \overline{F}_{1,k}(r,\tau). \tag{20}$$

С помощью обобщенных функций можно начальное условие сделать нулевым, т.е. окончательно задачу можно привести к виду:

$$(L_{\tau,k} - L_{r,k})\overline{V}_k = \overline{F}_k(r,\tau), \tag{21}$$

где $\overline{F}_k(r,\tau) = \overline{F}_{1,k}(r,\tau) + (L_{r,k} + L_{\tau,k})\overline{W}_k + \left[\overline{U}_0 - \overline{W}_k(r,0)\right]\delta(r)$,

с начальным условием:

$$V(r,0) = 0; \tag{22}$$

и граничными условиями:

$$V_{1,n}(R_n(\varphi),\tau) + \frac{\lambda_n}{\alpha_n}\frac{\partial V_{1,n}(R_n(\varphi),\tau)}{\partial n} = 0; \tag{23}$$

$$V_{2,n}(R_n(\varphi),\tau) + \frac{æ_n}{\beta_n}\frac{\partial V_{2,n}(R_n(\varphi),\tau)}{\partial n} = 0; \tag{24}$$

$$V_{3,n}(R_n(\varphi),\tau) = 0; \tag{25}$$

$$V_{1,k-1}(R_{k-1}(\varphi),\tau) = V_{1,k}(R_{k-1}(\varphi),\tau); \tag{26}$$

$$V_{2,k-1}(R_{k-1}(\varphi),\tau) = V_{2,k}(R_{k-1}(\varphi),\tau); \quad k = 2,...,n; \tag{27}$$

$$V_{3,k-1}(R_{k-1}(\varphi),\tau) = V_{3,k}(R_{k-1}(\varphi),\tau); \tag{28}$$

$$V_{1,1}(R_0(\varphi),\tau) - \frac{\lambda_1}{\alpha_1}\frac{\partial V_{1,1}(R_0(\varphi),\tau)}{\partial n} = 0; \tag{29}$$

$$V_{2,2}(R_n(\varphi),\tau) - \frac{æ_2}{\beta_2}\frac{\partial V_{2,2}(R_1(\varphi),\tau)}{\partial n} = 0; \tag{30}$$

$$V_{3,1}(R_0(\varphi),\tau) = 0; \tag{31}$$

$$\lambda_{k-1}\frac{\partial V_{1,k-1}(R_{k-1}(\varphi),\tau)}{\partial n} = \lambda_k\frac{\partial V_{1,k}(R_{k-1}(\varphi),\tau)}{\partial n}; \tag{32}$$

$$æ_{k-1}\frac{\partial V_{2,k-1}(R_{k-1}(\varphi),\tau)}{\partial n} = æ_k\frac{\partial V_{2,k}(R_{k-1}(\varphi),\tau)}{\partial n}. \tag{33}$$

Уравнение (21) с условиями (22) - (32) в операторной форме имеет решение вида:

$$\overline{V}_k(r,\tau) = (L_{\tau,k} - L_{r,k})^{-1}\left[\overline{F}_k(r,\tau)\right]; \tag{34}$$

явный вид оператора $(L_{\tau,k} - L_{r,k})^{-1}$ можно установить, решив задачу Штурма-Лиувилля

$$L_{r,k}\psi_{k,j} + \lambda_{k,j}\psi_{k,j} = 0, \tag{35}$$

с условиями (22) - (32).

Составим функцию Грина:

$$G(r,\xi,\tau,\theta) = \sum_{k,j}\frac{\left\langle\psi_{k,j}(r),\psi_{k,j}(\xi)\right\rangle}{\int\limits_{R_0}^{R_n}\left\langle\psi_{k,j}^2(r)\cdot\rho_{k,j}^2(r)\right\rangle dr}\rho_{k,j}^2(r)\exp\left[-\lambda_{k,j}(\tau-\theta)\right],$$

где функции $\psi_{k,j}$ – являются функциями Бесселя задачи (35) с условиями (22) - (33).

Таким образом, из (34) следует, что

$$\overline{V}_k(r,\tau) = \int\limits_0^{\tau}\int\limits_{R_0}^{R_n} G(r,\xi,\tau,\theta)F(\xi,\theta)d\xi d\theta. \tag{36}$$

Решение исходной задачи имеет вид:

$$\overline{U}_k(r,\tau) = \overline{V}_k(r,\tau) + \overline{W}_k(r,\tau) \tag{37}$$

Список литературы

1. *Акимов А.И.* Математическое моделирование теплофизических процессов в автоматических установках производства композиционных материалов. //Материалы VIII Всероссийской научно-технической конференции «Проблемы информатики в образовании, управлении, экономике и технике»: г. Пенза, 2008г.-с.271-274.

2. *Лыков А.В.* Теория теплопроводности. //М.: «Высшая школа», 1967г, с.599.

05.13.01

[1]В.В. Андреев, [2]Е.В. Тесленко, [3]В.П. Хранилов

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева,
[1]кафедра «Ядерные реакторы и энергетические установки»,
[2]«Технология конструкционных материалов и метрология»,
[3]«Компьютерные технологии в проектировании и производстве»,
Нижний Новгород, vyach.andreev@mail.ru

ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕМ В САПР

Статья посвящена вопросам повышения эффективности проектирования в САПР за счет формализации системы связей на стадии подготовки производства изделий машиностроения. Предложена информационная модель управления конструкторско-технологическим взаимодействием в процессе проектирования деталей, а именно массивом конструктивно-технологических параметров.

Ключевые слова: *интеллектуальная информационная система, САПР, модель, конструктивно-технологические параметры деталей.*

Повышение качества машиностроительной продукции напрямую зависит от создания информационно-интегрированных производственных систем на основе CALS-технологий. Эффективность таких систем связана со средствами ее поддержки, в частности, с системами автоматизированного проектирования. Однако современные САПР, используемые при создании изделий, не обеспечивают автоматизацию назначения конструктивно-технологических параметров машиностроительных деталей. Поэтому на стадии рабочего проекта обеспечение качества при автоматизированном проектировании в существенной мере зависит от опыта и квалификации конструктора, привносящего в решение субъективный фактор и возможные ошибки, что требует проведения конструкторского, технологического и метрологического контроля, и приводит к возврату конструкторской документации на доработку.

Решение существующей проблемы возможно при разработке нового подхода, предусматривающего рассмотрение взаимодействия систем-участников подготовки производства (конструкторских, технологических, метрологических) в единой системе, позволяющей увязывать задачи обеспечения проектного качества изделий машиностроения с задачами производственного качества.

Взаимодействие систем «конструктор», «технолог» представляют собой итерационный процесс. При обнаружении нетехнологичных элементов конструкции, ее неконтролепригодности рабочая конструкторская документация возвращается конструктору на доработку, что приводит к увеличению сроков подготовки производства. Ошибки в конструкторской документации в системе «конструктор», не выявленные на ранних стадиях, могут привести на последующих этапах изготовления и испытания изделия к более серьезным временным и материальным потерям (рис.1).

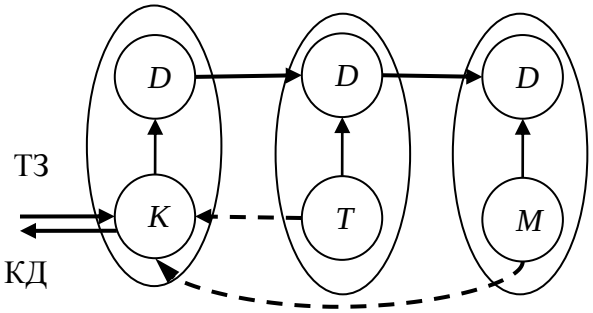


Рис. 1 – Существующая схема взаимодействия систем при разработке конструкторско-технологической документации: *K* – конструктор, *T* – технолог, *M* - метролог

Для разработки процедур и алгоритмов принятия решений по назначению конструктивно-технологических параметров при автоматизированном проектировании предлагается системная информационная модель детали [1]. Деталь представляется сложной многоуровневой иерархической системой. В модели подсистемами являются поверхности (П), специальные поверхности (СП) и конструктивные элементы (КЭ), а элементами – их конструктивно-технологические параметры соответственно $P^{п}$, $P^{кэ}$, $P^{сп}$.

Для рассмотрения связей в предлагаемой модели выполнена декомпозиция системы на уровнях: детали, поверхности, а также на уровне параметров. На уровне поверхности деталь представлена в виде двумерного массива (матрицы), с размерностью $n \times p$, где n – поверхности детали, p - совокупность конструктивно-технологических параметров.

В общем виде математическое описание исследуемой системы выражается зависимостью:

$$\{\mathbf{P}\} = \mathbf{\Phi}[\{\mathbf{X}\},\{\mathbf{Z}\},\{\mathbf{V}\}], \quad (1)$$

где $\{\mathbf{P}\} = \{P_1, P_2, \ldots, P_p\}$ – множество векторов выходных переменных системы. В качестве выходных переменных используются конструктивно-технологические параметры детали, отражающие цели исследования. Множество входных переменных подразделяется на три класса: $\{\mathbf{X}\} = \{X_1, X_2, \ldots, X_m\}$ – множество векторов входных контролируемых управляемых независимых переменных (факторов), действующих на объект; $\{\mathbf{Z}\} = \{Z_1, Z_2, \ldots, Z_k\}$ – множество векторов входных контролируемых, но неуправляемых независимых переменных; $\{\mathbf{V}\} = \{V_1, V_2, \ldots, V_l\}$ – множество векторов неконтролируемых возмущающих воздействий. Информационная модель формирования массива конструктивно-технологических параметров детали машиностроения представлена на рис. 2.

В результате исследования построенной модели вскрыты взаимосвязи выходных параметров модели (искомых конструктивно-технологических параметров) от действующих факторов (выявленных параметров). Получены функциональные зависимости параметров детали от некоторых влияющих факторов.

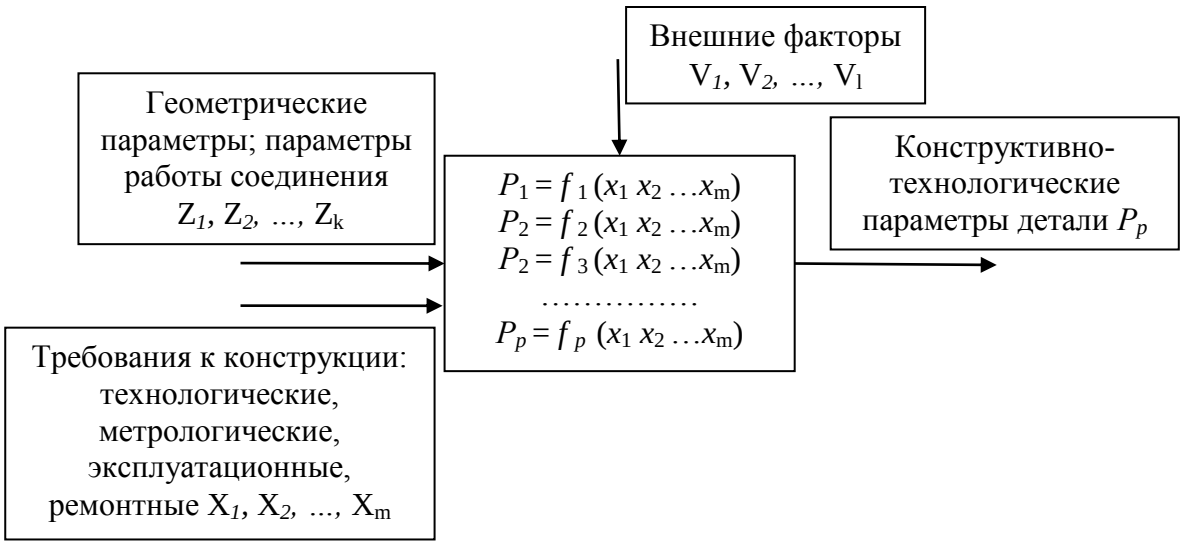


Рис.2 - Информационная модель формирования массива конструктивно-технологических параметров детали P_p

Для достижения поставленных задач формализации процедур принятия решений по назначению конструктивно-технологических параметров выполнена систематизация признаков поверхностей деталей машиностроения на основании справочников, монографий, уже сложившейся классификации (ГОСТ, терминологические справочники и т.п.). Предложен семантический признак поверхности *Semp*, который позволяет однозначно определить служебные свойства поверхности. Например, *Semp* = {поверхность под подшипник, резьбовая поверхность, шлицевая поверхность, …, нерабочая поверхность}.

Разработаны алгоритмы для поверхностей с разным семантическим признаком *Semp*, а также сгенерированы формальные правила назначения параметров в виде бинарных таблиц отношений параметров свойств. В результате для каждого уровня декомпозиции детали сформированы эвристические знания в виде декларативной информационной модели, которая, в частности, имеет вид таблицы решений.

Для обеспечения эффективной работы систем «конструктор», «технолог», «метролог» разработана модель интеллектуальной информационной системы (ИИС) (рис.3).

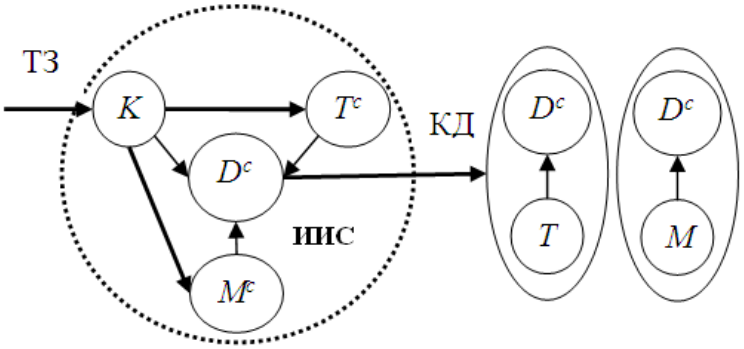


Рис. 3- Предлагаемая схема взаимодействия систем «конструктор», «технолог», «метролог» на стадии рабочего проектирования изделия

Система представляет собой комплекс программ, содержащих разработанные процедуры и алгоритмы назначения конструктивно-технологических параметров и известные алгоритмы нормативного решения технологических задач. Важная особенность системы – многовариантность решений и численная оценка их технологичности.

В состав ИИС входят следующие основные элементы: модуль формирования массива конструктивно-технологических параметров детали, модуль автоматизированного синтеза планов обработки поверхностей и технологического процесса (ТП) детали по входным

данным создаваемого массива параметров детали, модули численной оценки технологичности и метрологического обеспечения детали, модуль управления массивом параметров детали, модуль технологической документации на обработку детали для любого заданного типа производства, база знаний (технологических, метрологических) (рис.4).

Применение ИИС позволит изменить алгоритм информационного взаимодействия перечисленных систем за счет активной технологической и метрологической поддержки конструкторских решений на стадии рабочего проектирования изделий машиностроения.

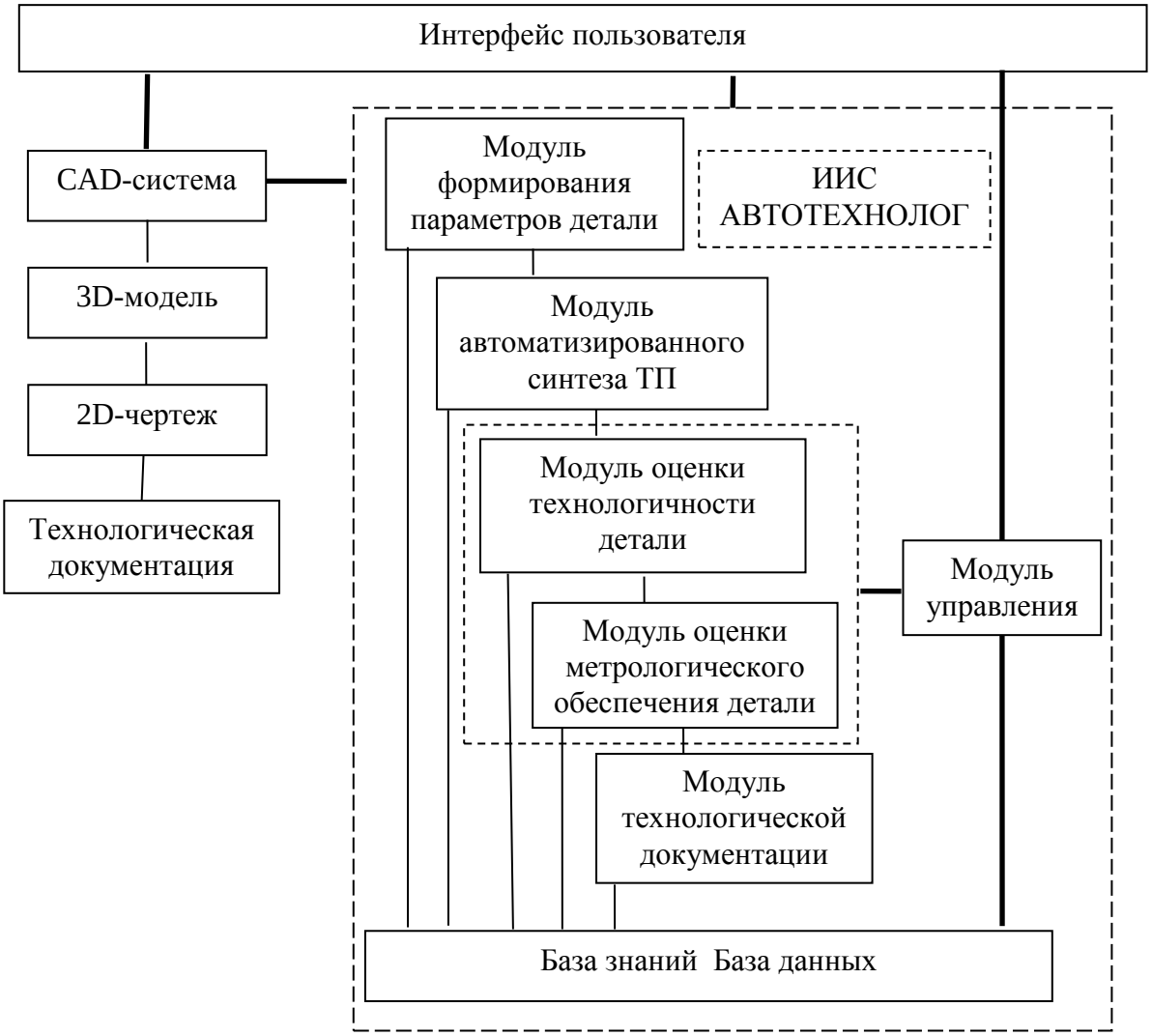


Рис. 4 – Общая структура интеллектуальной информационной системы технологической и метрологической поддержки проектирования

Список литературы

1. *Тесленко Е.В.* Информационная модель массива параметров деталей машиностроения для системы технологического и метрологического сопровождения процесса проектирования/ Е.В. Тесленко, В.В. Андреев // Научно-технический вестник Поволжья. – 2012. – № 3. – С. 40-44.

2. *Андреев В.В.* Интеллектуальная информационная система технологического проектирования в CAD-системах / В.В. Андреев, Е.В. Тесленко // Научно-технический вестник Поволжья. – 2011. №6. – С. 90-92.

05.22.10

И.А. Анисимов к.т.н., Л.Н. Буракова, В.Ф. Буторин

Тюменский государственный нефтегазовый университет,
Институт транспорта, кафедра эксплуатация автомобильного транспорта,
Тюмень, burakova.1992@mail.ru

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ИСПЫТАНИЙ РАБОТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ АВТОМОБИЛЯ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА РАСХОД ТОПЛИВА

В работе рассматривается влияния температуры окружающего воздуха, цвета кузова и мощности двигателя на расход топлива при работе климатической.

Ключевые слова: *расход топлива, климатическая система, холостой ход, цвет автомобиля, мощность двигателя, температура воздуха.*

Топливная экономичность характеризует свойство автомобиля расходовать определенное количество топлива на каждую единицу выполненной транспортной работы. Расход топлива, определяющий топливную экономичность, зависит от многих факторов [4,5,6].

На работу различных систем автомобиля, таких как электрические [4], гидравлические [7], оказывают влияние переменные природно-климатические условия.

Одной из систем является климатическая система, которая относится к потребителям энергии, имеющим большую мощность, в связи с чем, влияет на топливную экономичность.

В действующих нормативных документах дополнительный расход топлива, связанный с необходимостью обеспечения оптимальных тепловых условий в салоне автомобиля, устанавливается нормой из расчета – один час простоя на холостом ходу соответствует 10 км пробега. [3] Такой подход не учитывает влияние различных факторов на температуру воздуха в салоне автомобиля, которая формируется под влиянием цвета автомобиля, и мощность двигателя. При его работе, на больших скоростях и нагрузках (на трассе) влияние кондиционера на расход топлива незначительно, а на режиме холостого хода кондиционер отбирает часть мощности двигателя на работу компрессора. И чем меньше мощность двигателя, тем большая доля отбора мощности идет на работу кондиционера.

Таким образом, факторами влияющие на расход топлива будут являться температура окружающего воздуха, коэффициент отражения непрозрачных элементов кузова и мощность двигателя автомобиля.

Для подтверждений гипотез были проведены экспериментальные исследований.

Для решения поставленной цели была разработана методика, согласно которой в июле 2012 г. проводились экспериментальные исследования на базе компании «АВТОСТАР» г. Тюмень. Методика предусматривает определение температуры воздуха в салоне, а так же расход топлива при работе климатической установки на автомобилях с различной мощностью двигателя и цветам непрозрачных элементов кузова при различных температурах окружающего воздуха.

Эксперимент проводился на автомобилях Ford Focus III с двигателями мощностью 105 л.с. 1,6л.; 125 л.с. 1,6 л.; 150л.с. 2,0 л., и цветам непрозрачных элементов кузова: черный, с коэффициентом отражения 0,05, белый, с коэффициентом отражения 0,95, серебристый, с коэффициентом отражения 0,57 и серебристо-серый, с коэффициентом отражения 0,38. [2]

Испытания проводились на полигоне при температуре окружающего воздуха от $+20^0$ до $+40^0$С и атмосферном давлении 748 ÷ 765 мм рт. ст. Измерения расхода топлива проводились при нагреве охлаждающей жидкости до рабочего значения ($80...100^0$С), и установившейся температуре воздуха в салоне автомобиля. Данные о расходе топлива при

различных нагрузках на двигатель были получены с ЭБУ автомобиля при помощи адаптера BT-ECU CAN и компьютерной программы «Check-Engine»..

На основе результатов эксперимента были построены графические зависимости.

На рис. 1 представлена графическая зависимость влияния коэффициента отражения непрозрачных элементов кузова на расход топлива при температуре окружающего воздуха +29 ^{0}C при мощности двигателя 125 л.с., 1,6 л.

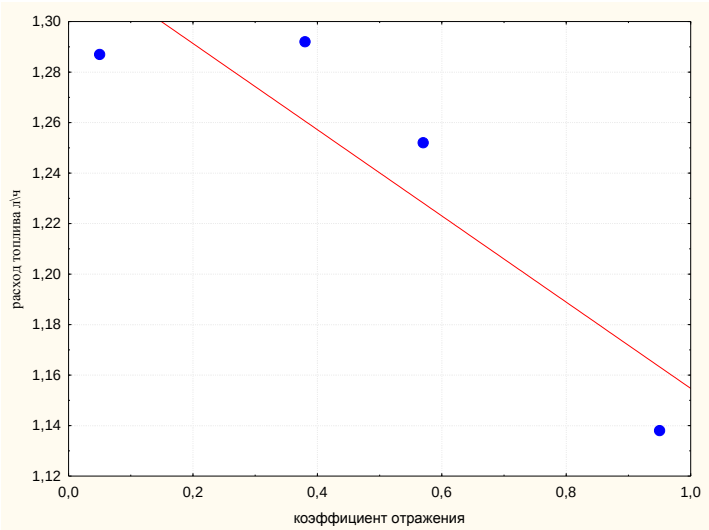


Рис.1 -Зависимость расхода топлива двигателем мощностью 125 л.с., 1,6 л. от коэффициентов отражения непрозрачных элементов кузова при температуре окружающего воздуха +29 ^{0}C и работе климатической системы

В результате обработки экспериментальных данных в программе STATISTICA[1] были определены численные значения пареметров, входящих в однофакторную математическую модель, рассмотренную в качестве рабочей гипотезы.

Согласно аналитическим исследованиям данная математическая модель имеет следующий вид:

$$q = 1{,}325 - 0{,}171 \times C, \qquad (1)$$

где q — расход топлива, кг/ч;

C — коэффициент солнечного излучения.

На рис. 2 представлена графическая зависимость расхода топлива при работе климатической системы от температуры воздуха.

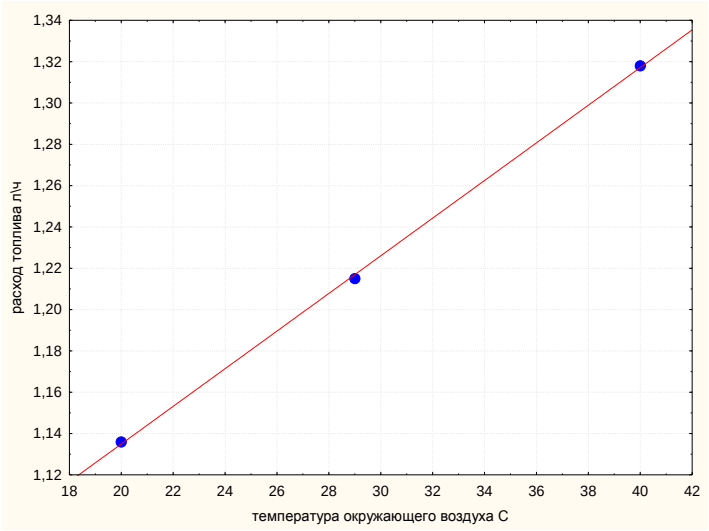


Рис. 2- Зависимость расхода топлива двигателем от температуры окружающей среды при работе климатической системы для автомобиля с коэффициентом отражения 0,57 и мощностью двигателя 105 л.с., 1,6 л.

Численные значения основных статистических характеристик однофакторной модели, которые представлены в табл.2.

Математическая модель влияния температуры окружающего воздуха на расход топлива имеет вид:

$$q = 0{,}952 + 0{,}01 \times t, \qquad (2)$$

Графическая зависимость, представленная на рис.3 показывает влияние мощности двигателя на расход топлива при работе климатической системы.

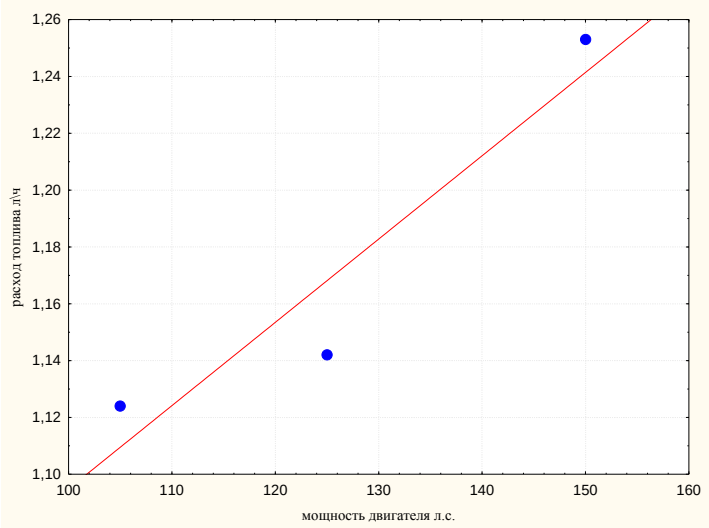


Рис. 3- Зависимость расхода топлива от мощности двигателя с коэффициентом отражения непрозрачных элементов кузова 0,38 при температуре окружающего воздуха +20 ^{0} С

Так же были установлены числовые значения данной математической модели.

$$q = 0{,}802 + 0{,}003 \times C, \qquad (3)$$

Таким образом, анализ статистических характеристик показал адекватность моделей влияния температуры окружающего воздуха, цвета непрозрачных элементов кузова и мощности двигателя на расход топлива при работе климатической системы на автомобилях Ford Focus III.

Можно сделать вывод, что в настоящее время, при расчете норм расхода топлива влияние температуры окружающего воздуха, цвет автомобиля и мощность двигателя не учитываются, что влечет за собой разницу планируемого расхода топлива и фактического.

Список литературы

1. *Боровиков В.П.* Программа STATISTICA для студентов и инженеров. 2-е изд. – М.: КомпьютерПресс, 2001. – 301 с.
2. Cool-Colored Cars to Reduce Air-Conditioning Energy Use and Reduce CO2 Emission - Lawrence Berkeley National Laboratory One Cyclotron Road Berkeley.2011. 102 pp
3. www.consultant.ru Методические рекомендации «Нормы расхода топлив и смазочных материалов на автомобильном транспорте» Приложение к распоряжению Минтранса России от 14.03.2008 N АМ-23-р
4. *Анисимов И.А., Буракова Л.Н., Буторин В.Ф.* Оценка влияния работы электрических систем на расход топлива автомобиля//Научно-технический вестник Поволжья №5-2012. Казань, 2012, с. 79-83
5. *Анисимов И.А., Буторин В.Ф.* Актуальные вопросы экономии топлива на автомобильном транспорте в условиях низких температур// Вестник ОГУ №10-2011 г., с. 181-186
6. *Анисимов И.А., Иванов А.С.* Корректирование норм расхода топлива газодизельных автомобилей при выполнении транспортной работы в низкотемпературных условиях //Автотранспортное предприятие, №7-2011, стр. 51-53
7. *Н.Н. Карнаухов, А.В. Яркин, А.Р. Крук, Ф.Д. Шараев* Методика расчета электропрогрева гидропривода в зимний период [Текст]/ Научно-технический вестник Поволжья. №2 2013г. - Казань: Научно-технический вестник Поволжья, 2013. - 123 -126с.

05.09.03

А.С. Безгин, Э.Л. Греков к.т.н

Федеральное бюджетное образовательное учреждение
«Оренбургский государственный университет»,
электроэнергетический факультет, кафедра автоматизированного электропривода,
г. Оренбург, alex11_81@mail.ru, aeptpm@rambler.ru

ПРИМЕНЕНИЕ ИНКРЕМЕНТАЛЬНОГО ЭНКОДЕРА КАК ДАТЧИКА СКОРОСТИ В ЦИФРОВЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ЭКСКАВАТОРНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

В статье рассмотрены аспекты выбора энкодера как датчика скорости в цифровых системах управления экскаваторного электропривода переменного тока.

Ключевые слова: *датчик скорости, энкодер, цифровая система управления, электропривод, экскаватор.*

Современные электропривода переменного тока реализуются на базе специализированных микроконтроллеров, в которых структура системы управления представляет собой программный код. В большинстве случаев при реализации векторного управления необходима обратная связь по скорости. Для экскаваторного электропривода, в особенности для привода подъема, обязательным условием при удержании ковша является работа электропривода на скоростях близких к нулю и получение жесткой механической характеристики.

Определим основные критерии выбора датчика применительно к экскаваторному электроприводу, относящиеся как к самому энкодеру, так и к микропроцессорной системе управления:

- принцип действия (оптический или магнитный);
- конструктивное исполнение, вид механического интерфейса;
- тип электрического интерфейса, напряжение питания;
- разрешение энкодера (количество меток на оборот);
- частота дискретизации контура скорости.

При выборе по принципу действия энкодера главной проблемой является разрешающая способность. Для магнитных инкрементальных энкодеров максимальное разрешение не превышает 8192 пульсов на оборот (энкодер HMC 16 (M) фирмы Baumer Hubner GmbH), у оптических эта цифра может достигать 524288 меток за оборот на диске (энкодер MHGP 400 B5 G фирмы Baumer Hubner GmbH).

Конструктивное исполнение датчика напрямую зависит от геометрии двигателя. Двигатели основных приводов экскаваторного исполнения это машины с диаметром выходного вала от 100 мм. Большинство выпускаемых энкодеров при этом имеет размеры корпусов меньше 150 мм. Для согласования энкодера с валом двигателя в таких случаях приходится применять специальные переходные устройства, имеющие достаточно сложную конструкцию. Например, для согласования двигателя ДЭ-200 и энкодера DFS60 фирмы Sick была разработана конструкция изображенная на рисунке 1а, позволяющая компенсировать осевые перемешения вала двигателя до 5мм. Можно также применить энкодеры с полым сквозным валом, которые устанавливаются непосредственно на вал двигателя.

Выбор электрического интерфейса зависит от вида цифровой системы управления или конкретного специализированного модуля, к которому подключается датчик, длины проводов между датчиком и входом подключения.

Выбор разрешения энкодера зависит от нескольких переменных: пропускной способности канала передачи пульсов от энкодера до модуля приема; минимальным необходимым количеством импульсов за время подсчета; частоты дискретизации контура скорости.

Рис. 1 – а) согласующее устройство, б) двигатель ДЭ-200

Рассмотрим выбор энкодера для электропривода подъема экскаватора ЭКГ-5, выполненного по системе "Тиристорный непосредственный преобразователь частоты - двухфазный асинхронный двигатель". Система разработана на кафедре автоматизированного электропривода Оренбургского государственного университета и испытана на производственных мощностях ОАО «Рудавтоматика» г. Железногорск Курской области [1]. Система управления ТНПЧ имеет векторную структуру [2]. ТНПЧ состоит из двух реверсивных, трехфазных, мостовых тиристорных выпрямителей, питающих асинхронный двухфазный электродвигатель ДЭ-200 ($P_н$ = 200 кВт, $U_н$ = 315В, $f_н$ = 25 Гц, $n_н$ = 750 об/мин, s_n = 0.9 %) специального исполнения (выполнен в корпусе двигателя постоянного тока) рисунок 1б. Максимальная частота вращения двигателя согласно требованиям к приводу подъема составляет 1200 об/мин (увеличение скорости при спуске пустого ковша).

Для приема импульсов энкодера используется модуль квадратурного энкодера "Quadrature Encoder Interface" (QEI) микроконтроллера dsPIC30F3011A компании Microchip с максимальной пропускной способностью 2.5 МГц и возможностью аппаратного увеличения импульсов до четырех раз.

При определении скорости двигателя разработанной системы был выбран способ, заключающийся в подсчете времени между соседними импульсами. Так как программа микроконтроллера, реализующая структуру системы управления, выполняется по замкнутому циклу, то период подсчета импульсов кратен времени этого цикла.

Для определения частоты циклов выполнения программы (частоты дискретизации системы управления) рассмотрим структурную схему системы управления, реализованную в данном микроконтроллере (рис. 2). Контур скорости в данной структуре является внешним по отношению к контуру момента и контуру тока по оси β. Так как контур тока является внутренним, то частота дискретизации этого контура должна быть наибольшей.

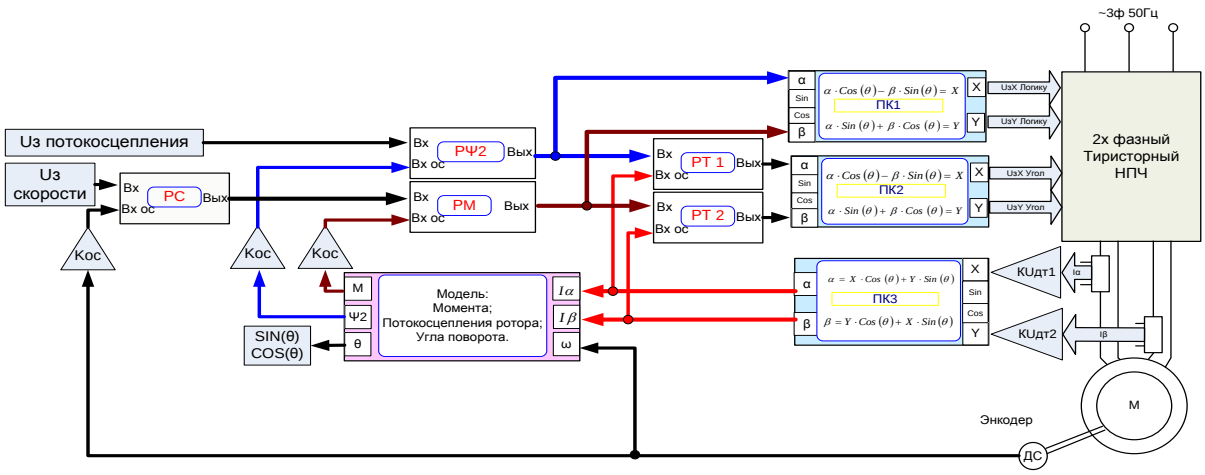


Рис. 2 - Функциональная схема регулирования скорости при векторном управлении асинхронным двигателем

При определении необходимой частоты дискретизации одним из наиболее важных параметров является разрядность АЦП микроконтроллера. У выбранного микроконтроллера разрядность составляет 10 бит. Определим минимальный уровень сигнала, который будет соответствовать самому младшему разряду АЦП.

$$A_{мин} = 20\log\left(1\Big/\left(\frac{2^{N_{АЦП}}}{K}\right)\right) = 20\log\left(\frac{1}{512}\right) = -54дБ. \qquad (1)$$

где $N_{АЦП} = 10$ разрядность АЦП микроконтроллера;

$K = 2$ - коэффициент.

Коэффициент К учитывает наличие бита знака в 10 разрядном значении АЦП. На вход АЦП поступает сигнал с уровнем напряжения 0...+2.5...+5В, что соответствует цифровым значениям в относительных единицах,-1...0...+1.

Определим гармонический состав тока на выходе тиристорного преобразователя при работе на нагрузку при самом неблагоприятном режиме работы с чисто активной нагрузкой в режиме прерывистого тока (рис. 3а) и при максимальном токе с активно индуктивной нагрузкой (рис. 5б).

Нулевая ось (0 дБ) на рисунке 3 соответствует уровню сигнала, поступающему с датчика тока электропривода в режиме короткого замыкания когда ток статора максимален. При этом значение АЦП достигает 1 о.е.(0 дБ). Из гармонического состава видно, что амплитуды сигналов после шестой гармоники меньше уровня самого младшего разряда АЦП, соответственно ими можно пренебречь. Таким образом минимальная частота дискретизации будет определятся по выражению (2):

$$f_{dkt} = fs \cdot m \cdot k_z \geq f_1 \cdot N_6 \cdot 2 = 3600\,Гц, \qquad (2)$$

где $f_1 = fs \cdot m = 300$ Гц – частота основной гармоники тока на входе тиристорного преобразователя;

$N_6 = 6$ - шестая гармоника;

fs =50 Гц - частота питающей сети;

m = 6 - пульсность мостовой схемы выпрямления;

2 – коэффициент согласно теоремы Котельникова.

Коэффициент k_z принимается от 12 (минимальная частота 3600 Гц) до величины, кратной числу 2, для удобства расчета.

Для программной реализации примем частоту дискретизации контура тока f_{dkt} = 4800 Гц (с $k_z = 16 = 2^4$).

Примем частоту контура момента и контура скорости аналогичной, частоте контура тока и рассчитаем количество импульсов, которое успеет посчитать полученная система при

частоте дискретизации контура скорости 4800 Гц и энкодером с числом меток 8192, при максимальной скорости вращения.

$$Nfd = \frac{\frac{n_{max}}{60} \cdot N \cdot k_{ум}}{f_{dks}} = 136, \qquad (5)$$

где n_{max} = 1200 об/мин;

f_{dks} = 4800 Гц - частота дискретизации контура скорости;

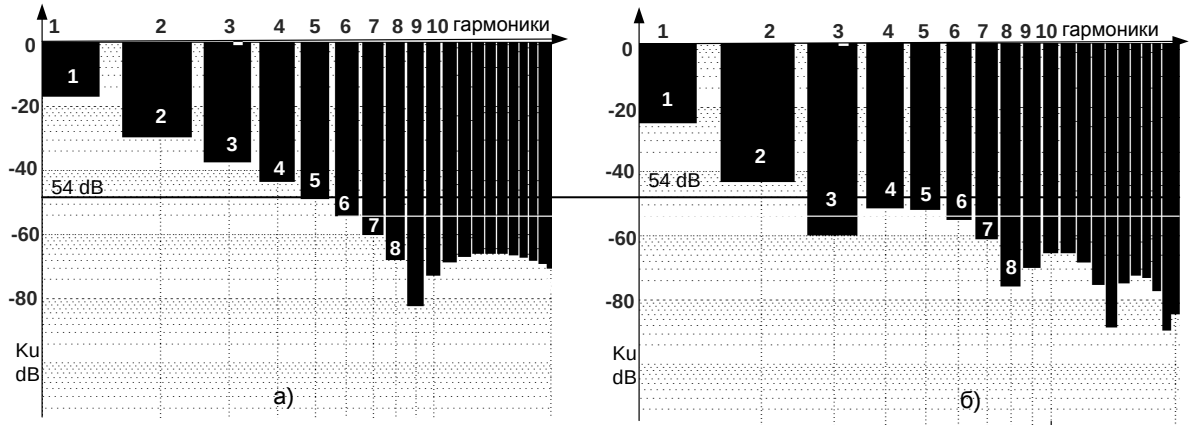


Рис. 3 – Спектр гармоник тока

При таких параметрах получается, что разрешающая способность датчика скорости равна 8 об/мин, что оказывается недостаточным при программно - аппаратной реализации векторной системой управления.

Для обеспечения приемлемого качества переходных процессов по скорости, нужно чтобы пропускная способность была не меньше величины, сопоставимой с номинальным скольжением двигателя. Для двигателя ДЭ-200 контур скорости должен “чувствовать” изменение скорости в пределах 6.75 об/мин.

Для определения оптимальной частоты дискретизации контура скорости воспользуемся моделью данной системы. На рисунке 4 изображены кривые переходного процесса скорости при неизменных параметрах всех регуляторов и одном и том же задании на скорость. Частота дискретизации всех контуров равна f_{dks} = 4800Гц. Контур скорости настроен на технический оптимум. Увеличение разрешающей способности датчика скорости достигается увеличением времени счета импульсов, т.е. уменьшении частоты дискретизации контура скорости ($f_{dks}/2$ = 2400 Гц, $f_{dks}/4$ = 1200 Гц, $f_{dks}/8$ = 600 Гц, $f_{dks}/16$ = 300 Гц и $f_{dks}/32$ = 150 Гц.) Плавные линии - это скорость вращения двигателя, дискретные - это сигналы, поступающие с датчика скорости.

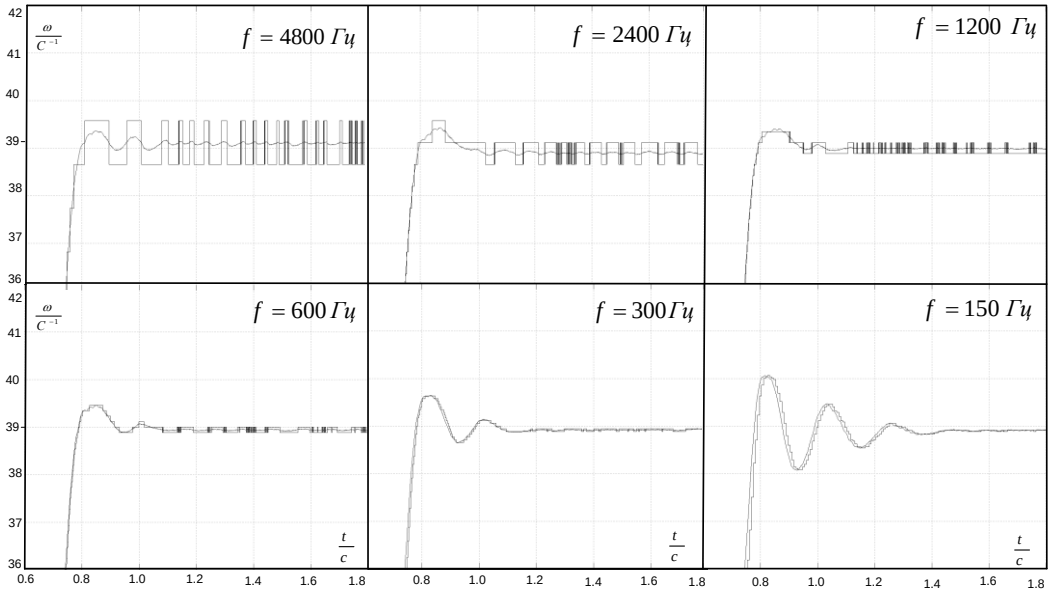


Рис. 4 – Переходные процессы скорости вращения двигателя в зависимости от частоты дискретизации датчика скорости

Анализируя полученные кривые можно сделать вывод, что уменьшение частоты дискретизации до 600 Гц вызывает положительный эффект: количество импульсов увеличивается, система управления учитывает меньшие дискретные изменения скорости (1200/1092 = 1.099 об/мин). Дальнейшее уменьшение частоты дискретизации ниже 300 Гц приводит к значительному увеличению постоянной времени в контуре обратной связи по скорости, которую уже нельзя игнорировать. Возникает дополнительный фазовый сдвиг в контуре, увеличивающий колебательность и перерегулирование (на рис. 4 при f = 150Гц).

Выводы:

1 Минимальная частота дискретизации контура тока в системе тиристорный НПЧ – АД должна быть не ниже 3600 Гц;

2 Минимальная частота дискретизации контура скорости для системы управления тиристорным НПЧ определяется частотой дискретизации контура тока и разрешающей способностью датчика скорости. При недостаточной разрешающей способности возможно уменьшение частоты дискретизации контура до оптимального значения. Дальнейшее уменьшение приводит к росту колебательности системы.

Список литературы

1. *Безгин А.С.* Цифровая система управления тиристорным непосредственным преобразователем частоты для электроприводов подъемно-транспортных механизмов / Бессонов В.Г., Греков Э.Л., Сорокин В.А. // Информационные технологии в электротехнике и электроэнергетике: И74 материалы VII Всерос. науч.-техн. конф. Чебоксары, 2010 – С. 126-131.

2. *Соколовский Г.Г.* Электроприводы переменного тока с частотным регулированием. - М.: Академия, 2006. - 265с.

05.17.08

В.Ф. Беккер

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Березниковский филиал,
Березники, bekker@bf.pstu.ac.ru

ВВЕДЕНИЕ МАСШТАБА ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО ПОДОБИЯ В ОПИСАНИЕ ГИДРОДИНАМИКИ ТРЕХФАЗНОГО ПСЕВДООЖИЖЕННОГО СЛОЯ

На основе теории локально-изотропной турбулентности и результатов экспериментальных исследований физической модели предложено полуэмпирическое автомодельное описание гидродинамики организуемого в аппаратах с подвижной насадкой трехфазного псевдоожиженного слоя.

Ключевые слова: *трехфазное псевдоожижение, газожидкостная структура, геометрическое подобие, подвижная насадка.*

Чрезвычайная нерегулярность во времени и в пространстве гидродинамических полей, создаваемых подвижной насадкой в объеме трехфазного псевдоожиженного слоя, не позволяет описывать образуемую структуру потоков простыми аналитическими выражениями, получаемыми в результате решения краевых задач или задач с начальными условиями для уравнений гидродинамики. Несмотря на это трехфазный слой трактуется нами как турбулентное течение с большим числом Рейнольдса – развитая изотропная турбулентность, статистические параметры которой (функция распределения вероятности, дисперсия, моменты) в направлении разных осей координат и не зависят от времени.

При разных граничных условиях такое (автомодельное) течение всегда приводит к созданию не зависящего от числа Рейнольдса профиля скоростей и представляет собой иерархию вихрей (возмущений или неоднородностей) разных порядков, отличающихся характерными масштабами и скоростями. Самые крупные из этих возмущений – возмущения первого порядка, характеризующиеся масштабом длины $l_1 = L$, сравнимым с типичным масштабом всего потока в аппарате с подвижной насадкой и масштабом скорости U, сравнимым с изменением скорости на расстояниях порядка l_1, заимствуют свою энергию непосредственно из осредненного движения потока. Они возникают из-за неустойчивости этого движения при достаточно большом Re. Но при очень большом $\mathrm{Re} = UL/\nu$ число Рейнольдса неоднородностей первого порядка, создаваемых движением отдельного элемента подвижной насадки $\mathrm{Re}_1 = u_1 l_1/\nu$ также будет велико. Эти крупномасштабные возмущения в свою очередь будут неустойчивыми и, распадаясь, будут порождать турбулентные возмущения второго порядка (еще меньшего масштаба l_2 с характерной скоростью u_2), передавая им часть своей энергии. Число Рейнольдса Re_2 вторичных неоднородностей меньше, чем первичных – Re_1. Однако и оно при достаточно большом числе Рейнольдса будет еще столь велико, что соответствующие ему движения также будут неустойчивыми и будут распадаться на возмущения третьего порядка еще меньшего масштаба l_3 с характерной скоростью u_3. Таким образом, возникает каскадный процесс, при котором энергия крупномасштабных движений последовательно передается все меньшим движениям вплоть до некоторого минимального масштаба λ, таких, что отвечающее им число Рейнольдса, уже характеризует устойчивое ламинарное движение. Малость числа Рейнольдса для движений масштаба λ означает, что в этих движениях вязкость играет существенную роль, т.е. в них происходит заметный переход кинетической энергии,

затрачиваемой на преодоление силы трения, в тепло (диссипация кинетической энергии). Что касается движений с масштабами $l >> \lambda$, то для них вязкость не играет большой роли и, следовательно, в них не происходит заметной диссипации энергии.

Вследствие хаотичности процесса передачи энергии от движений данного масштаба к более мелкомасштабным движениям ориентирующее влияние среднего сказывается лишь на возмущениях нескольких первых порядков все, более ослабевая затем при переходе от одного порядка к следующему. При этом элементы турбулентного течения с очень большим Re, совершающие пульсации с масштабами $l << L$, будут находиться в статистическом равновесии, определяемом средним притоком энергии $\overline{\varepsilon}$ от крупномасштабных пульсаций и равной ему диссипации энергии под действием вязкости, сосредоточенной в области мелких пульсаций с масштабами порядка λ.

Для количественной оценки выбирают такие характеристики поля скорости $\mathbf{u}(\mathbf{x},t)$, которые не зависят от крупномасштабных компонент движения, а определяются лишь мелкомасштабными пульсациями. В качестве таких величин выбраны статистические характеристики относительных скоростей жидких частиц в достаточно малом объеме пространства-времени, движущемся как целое со скоростью $\mathbf{u}(\mathbf{x}_0,t_0)$ условно выбранного центра $(\mathbf{x}_0,t_0)$ этого объема. Иначе говоря, вместо величин $\mathbf{u}(\mathbf{x},t)$ предложено рассматривать $\mathbf{v}(\mathbf{r},\tau)=\mathbf{u}(\mathbf{x},t)-\mathbf{u}(\mathbf{x}_0,t_0)$, где $\mathbf{r}=\mathbf{x}-\mathbf{x}_0-\mathbf{u}(\mathbf{x}_0,t_0)(t-t_0)$, $\tau=t-t_0$ при достаточно малых $|\mathbf{r}|$ и $|\tau|$.

В соответствии со второй гипотезой А.Н. Колмогорова [3] при достаточно большом числе Рейнольдса распределение вероятностей величин $\mathbf{v}(\mathbf{r}_k,\tau_k)$ при k = 1, 2, …, n с достаточно малыми по сравнению с L значениями $|\mathbf{r}_k|$, но в то же время большими по сравнению с $\lambda=\overline{\varepsilon}^{-1/4}\nu^{3/4}$ значениями $|\mathbf{r}_k-\mathbf{r}_j|$ при $k\neq j$ будет однозначно определяться значением $\overline{\varepsilon}$ и не зависеть от ν.

Вводя так называемую структурную функцию – средний квадрат пространственной разности значений продольной компоненты скорости $D_{dd}(r)=\overline{[u_1(x_1+r,x_2,x_3,t)-u_1(x_1,x_2,x_3,t)]^2}$, при условии $L>>r>>\lambda=\overline{\varepsilon}^{-1/4}\nu^{3/4}$ получаем $D_{dd}(r)=C(\overline{\varepsilon}\cdot r)^{2/3}$.

Модель развитой турбулентности основывается на рассмотрении в аппарате структуры газожидкостного слоя, который образуется при взаимодействии газового и жидкостного потоков в рабочем объеме равномерно распределенной псевдоожиженной подвижной насадки.

Под действием гравитационных и центробежных сил газовые и жидкостные потоки перемещаются по неопределенным траекториям, сохраняя общее направление движения.

Для определения площади поверхности массопереноса было сделано допущение о том, что газожидкостная система имеет изотропную структуру, состоит из n пузырей шарообразной формы одного размера (d_n) и равномерно занимает объём аппарата (V_{an}). Теоретическая оценка площади контакта фаз сделана на основании описанной выше локально-изотропной теории турбулентности. Учитывая, что касательные напряжения на поверхности пузырьков пропорциональны кинетической энергии пульсаций: $\tau\approx\rho_ж\cdot\overline{u}^2$, где $\overline{u}$ – средняя пульсационная скорость в жидкой фазе, $\rho_ж$ – плотность жидкости. Затем из соображений размерности представляя зависимости в виде $\overline{u}^2\approx(\varepsilon\cdot d_n)^{2/3}$, где ε – зависящая от геометрических особенностей конструкции аппарата скорость диссипации энергии, Вт/кг. Поэтому в полученное уравнение для средней пульсационной скорости $\overline{u}^2$ введен критерий геометрического подобия аппарата вида $\Gamma=d_ш/D_к$, где $d_ш$ – диаметр отдельного элемента подвижной насадки, м; $D_к$ – диаметр абсорбера, м. Учитывая, что распад пузырей

происходит при некотором постоянном отношении касательных напряжений на поверхности пузыря и силы поверхностного натяжения: $\tau \cdot d_n / \sigma = \text{const}$, диаметр пузыря с учетом величины критерия Γ определяется по формуле: $d_n = C \cdot (\rho_ж / \sigma)^{-\frac{3}{5}} \cdot \Gamma^{-\frac{2}{5}} \cdot \varepsilon^{-\frac{2}{5}}$. Если затем воспользоваться известным выражением: $a = 6 \cdot \varphi / d_n$, то зная диаметр пузыря, можно определить удельную площадь поверхности контакта фаз: $a = B \cdot \varphi \cdot (\rho_ж / \sigma)^{\frac{3}{5}} \cdot \Gamma^{\frac{2}{5}} \cdot \varepsilon^{\frac{2}{5}}$. Таким образом, газожидкостная система в режиме псевдоожижения подвижной насадки представлена нами гомогенной средой, свойства которой рассчитываются на основе содержания газа φ. Зависимости среднего диаметра газового пузыря и удельной поверхности контакта фаз от рассеиваемой в трехфазном слое энергии с учетом критерия геометрического подобия и без его учета представлены соответственно на рис. 1 и 2.

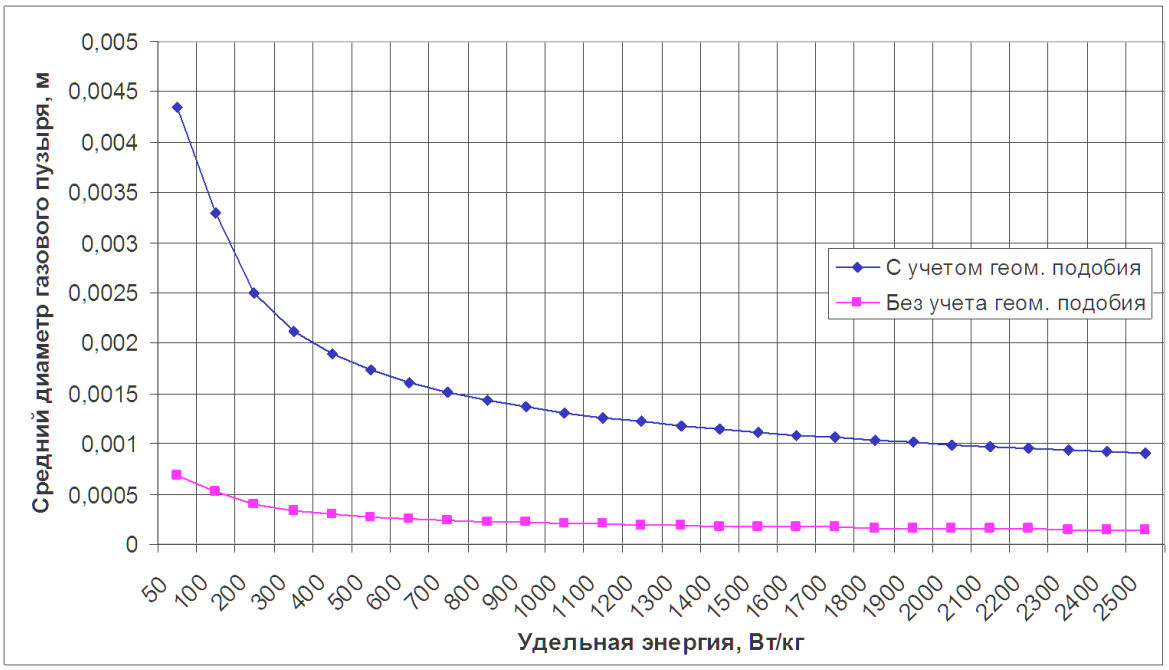


Рис. 1. Зависимости среднего диаметра газового пузыря
от рассеиваемой в трехфазном слое энергии

Выполнено сравнение рассчитанных величин с данными других исследований [1, 2]. Динамика изменения диаметра пузыря в зависимости от величины рассеиваемой энергии (см. рис. 1) является более достоверной с отличие от расчетов без учета критерия Г, которая сразу уходит в область нереально малых размеров пузыря и почты не зависит от величины рассеиваемой энергии. Получаемые без учета критерия геометрического подобия Г нереальные удельные поверхности (от 1500 до 7000 м^2/м^3) с введением этого критерия переходят (см. рис. 2) в приемлемый по величине диапазон от 100 до 1000 м^2/м^3.

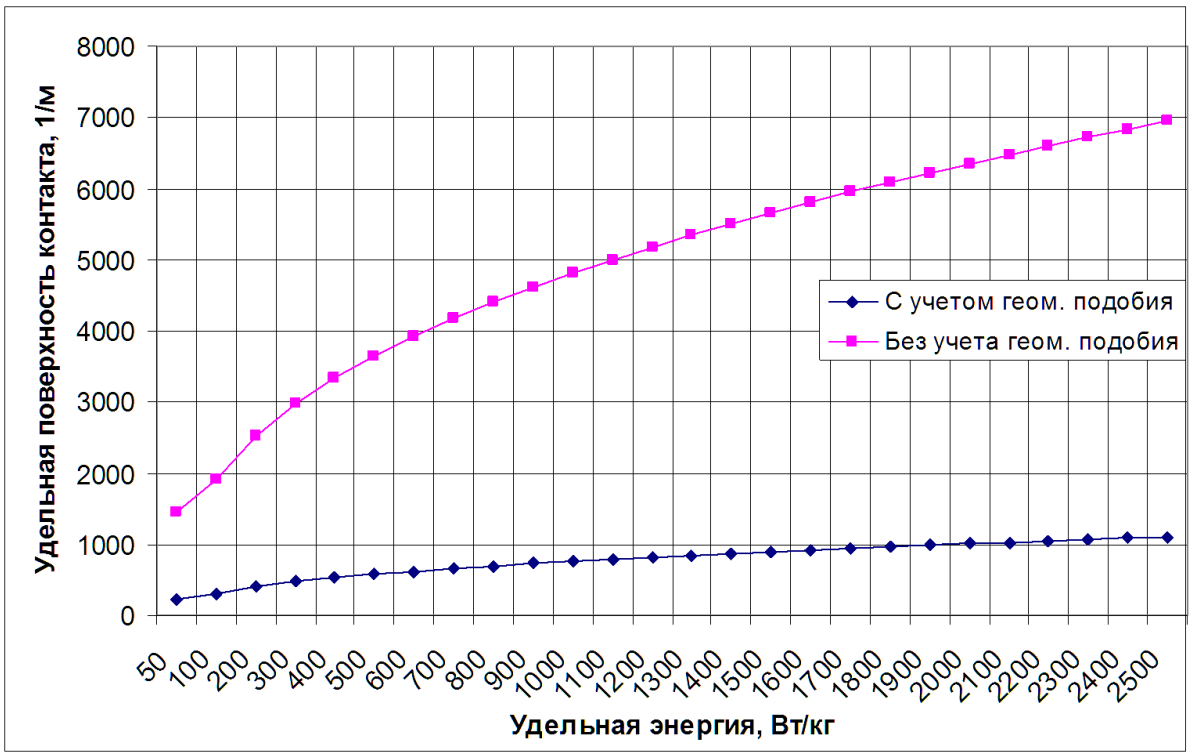


Рис. 2. Зависимости удельной поверхности контакта фаз
от рассеиваемой в трехфазном слое энергии

Следовательно, введение критерия геометрического подобия в формулы расчета диаметра пузыря и удельной поверхности фаз в режиме развитой турбулентности трехфазного псевдоожиженного слоя, организованного в аппарате с подвижной насадкой, является необходимым и практически обоснованным.

Список литературы

1. *Беккер В.Ф.* Стратегия многоуровневого физического моделирования промышленной абсорбционной колонны с подвижной насадкой. Научно-технический вестник Поволжья – №1, 2012. – С. 85-90.
2. *Беккер В.Ф.* Управление структурой потоков в аппаратах химической технологии. Пермь: ПГТУ, – 2010. – 208 с.
3. *Колмогоров А.Н.* Локальная структура турбулентности в несжимаемой жидкости при очень больших числах Рейнольдса. – Докл. АН СССР, 1941. Т. 30, № 4, С. 299-303.

05.13.18

Н.Н. Беспалов к.т.н., В.П. Глебочкин

Национальный исследовательский Мордовский государственный университет
им. Н.П. Огарёва,
факультет электронной техники, кафедра «АВТОМАТИКА»,
Саранск, ka-mgu@mail.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВРЕМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В ТИРИСТОРАХ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ИМПУЛЬСА НАПРЯЖЕНИЯ С ВЫСОКОЙ СКОРОСТЬЮ НАРАСТАНИЯ

Проведено моделирование временных процессов ёмкостного тока через p-базу структуры силового тиристора и вносимого им заряда неосновных носителей при приложении к тиристору напряжения в закрытом состоянии с высокой скоростью нарастания.

Ключевые слова: *барьерная ёмкость, ёмкостный ток, вносимый заряд, вольт-фарадная характеристика, критическая скорость нарастания напряжения в закрытом состоянии, силовой тиристор.*

Надёжность устройств силовой электроники, выполняемых на основе силовых тиристоров, во многом определяется качеством их изготовления, а также выбором надлежащего режима эксплуатации. Одним из важнейших предельных параметров силовых тиристоров, определяющих их надёжность, является критическая скорость нарастания напряжения в закрытом состоянии — $(du_D/dt)_{crit}$. Этот параметр определяет способность тиристоров противостоять процессу их включения при воздействии на них в закрытом состоянии импульсов напряжения с высокой скоростью нарастания фронта. Этот эффект называется du_D/dt-стойкостью [1]. Приборы при этом нормируются по группам с различной величиной $(du_D/dt)_{crit}$. Используемая в настоящее время методика контроля критической скорости $(du_D/dt)_{crit}$ [2] является экспериментальной и не всегда обеспечивает неразрушающий контроль испытуемых приборов, а также адекватность найденного значения $(du_D/dt)_{crit}$ реальной величине. В связи с чем исследование процессов переключения силовых тиристоров в проводящее состояние под действием критической скорости нарастания напряжения в закрытом состоянии с целью разработки неразрушающей методики контроля $(du_D/dt)_{crit}$ является актуальной задачей. Для решения этой задачи важно рассмотреть временные процессы в структуре тиристора при воздействии напряжения в закрытом состоянии с высокой скоростью нарастания при различных вариантах формирования испытательных импульсов.

Согласно действующему стандарту [1] определение критической скорости нарастания напряжения в закрытом состоянии $(du_D/dt)_{crit}$ проводится при максимально допустимой температуре тиристорной структуры T_{jm} и определённом испытательном импульсе напряжения. Амплитуду импульса напряжения выбирают равной 67% от максимального повторяющегося напряжения испытуемого тиристора в закрытом состоянии U_{DRM}. При этом источник испытательных импульсов напряжения должен удовлетворять следующим требования: обеспечивать мгновенное значения испытательного напряжения в интервале ±10% от соответствующего значения, лежащего на прямой, соединяющей точки 10 и 90% амплитуды испытательного импульса, а также обеспечивать не менее 75% угла наклона прямой, соединяющей точки со значениями напряжений 5 и 10% амплитуды испытательного импульса, от угла наклона прямой, соединяющей 10 и 90% амплитуды. Важно отметить, что при этом форма и скорость испытательного импульса до 5% амплитуды никак не регламентируется.

В данной работе исследуется влияние формы участка испытательного импульса до 5% его

амплитуды на процессы протекания ёмкостного тока и внесения заряда в *p*-базу тиристорной структуры.

Механизм включения силового тиристора в проводящее состояние под действием импульса напряжения в закрытом состоянии заключается в том, что при его подаче центральный переход тиристорной структуры смещается в обратном направлении и, следовательно, обладает барьерной ёмкостью $C_б$, через которую в *p*-базу начинает протекать ёмкостный ток i_c, играющий роль тока управления. Ёмкостный ток вносит *p*-базу тиристора заряд $Q_{внос}$ неосновных носителей, под действием которого при достижении этого заряда критической величины Q_{crit} тиристор переключится в проводящее состояние, что может вызвать его отказ при эксплуатации.

Для моделирования процессов в тиристорной структуре использовались вольт-фарадные характеристики силовых тиристоров таблеточного типа Т253-1000 с U_{DRM}=1800 В, которые на основании разработанного нами способа [3] экспериментально определены в работе [4]. Для расчетов одна из экспериментальных вольт-фарадных характеристик была аппроксимирована с погрешностью не более ±1,5% на всём диапазоне аппроксимации следующей функцией:

$$C_б(u_D) = 19.2(3.1 + u_D)^{-0.383}, \quad (1)$$

где u_D — напряжение, прикладываемое к центральному закрытому переходу тиристорной структуры, В; размерность $C_б$ — нФ.

Ёмкостный ток определялся по формуле:

$$i_c = C_б(u_D)\frac{du_D}{dt}. \quad (2)$$

При этом вносимый в базовые области тиристора заряд определялся как [5]:

$$Q_{внос} = \int_0^{t_0} C_б(u_D)\frac{du_D}{dt}\,dt. \quad (3)$$

Моделировались процессы изменения напряжения на тиристоре в закрытом состоянии до амплитудного значения U_{DM}=0.67U_{DRM}=1206 В при критической величине скорости нарастания напряжения для этого типа тиристоров $(du_D/dt)_{crit}$=1600 В/мкс и вызванные этими изменениями процессы изменения ёмкостного тока i_c и вносимого заряда $Q_{внос}$. При этом были выбраны четыре варианта моделирования импульсов напряжения, отличающихся друг от друга величинами скорости нарастания du_D/dt только на этапе изменения от 0 до 5% U_{DM}. Параметры этих импульсов приведены в таблице.

Таблица — Параметры импульсов напряжения при моделировании

№ вар.	du_D/dt от 0 до 5% U_{DM}		du_D/dt от 5 до 10% U_{DM}		du_D/dt от 10 до 90% U_{DM}	
	В/мкс	% от номинальной du_D/dt	*В/мкс*	% от угла наклона прямой между 10 и 90% U_{DM}	*В/мкс*	% от номинальной du_D/dt
1	80	5	721	95	1600	100
2	160	10	721	95	1600	100
3	480	30	721	95	1600	100
4	800	50	721	95	1600	100

На рис. 1 приведены графики изменения импульсов напряжения при различных вариантах моделирования, показанных в таблице 1. Номера графиков напряжения соответствуют номерам вариантов таблице.

На рис. 2 приведены графики ёмкостного тока i_c в *p*-базе тиристорной структуры, вызванные соответствующими импульсами напряжения, рассчитанные по формуле (2).

На рис. 3 приведены графики ёмкостного тока i_c в *p*-базе тиристорной структуры,

вызванные соответствующими импульсами напряжения, рассчитанные по формуле (3).

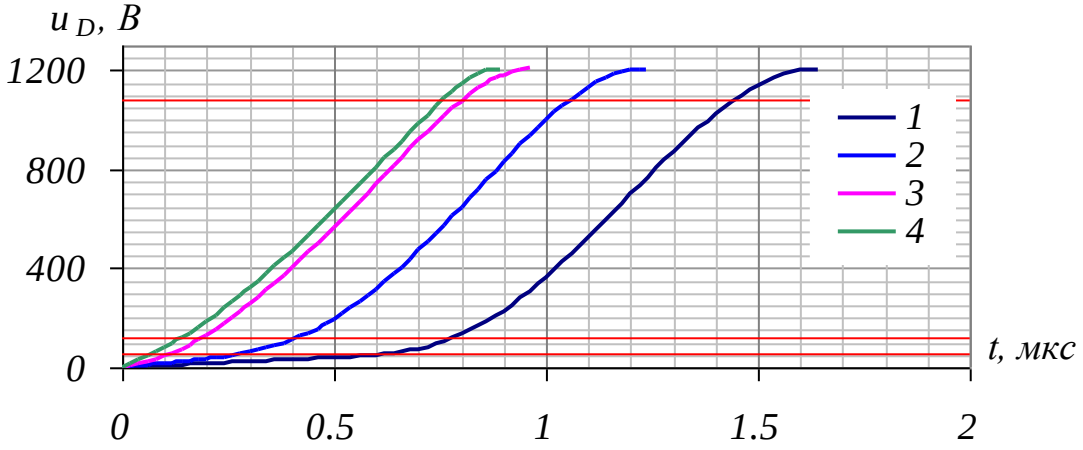


Рис. 1 — Временные зависимости моделированных импульсов напряжения u_D в закрытом состоянии тиристоров. Красными линиями показаны значения 5, 10 и 90% от амплитуды испытательного импульса U_{DM}

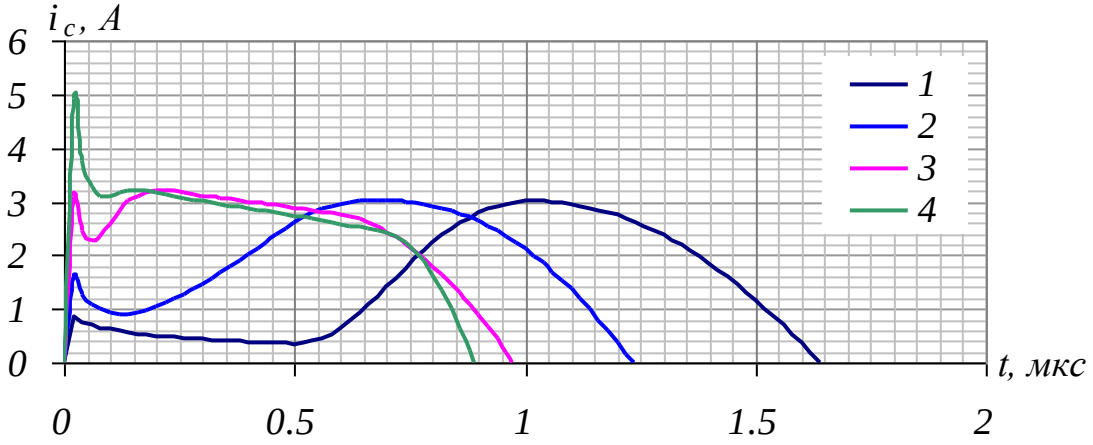


Рис. 2 — Временные зависимости ёмкостного тока i_c при различных импульсах напряжения u_D в закрытом состоянии тиристоров

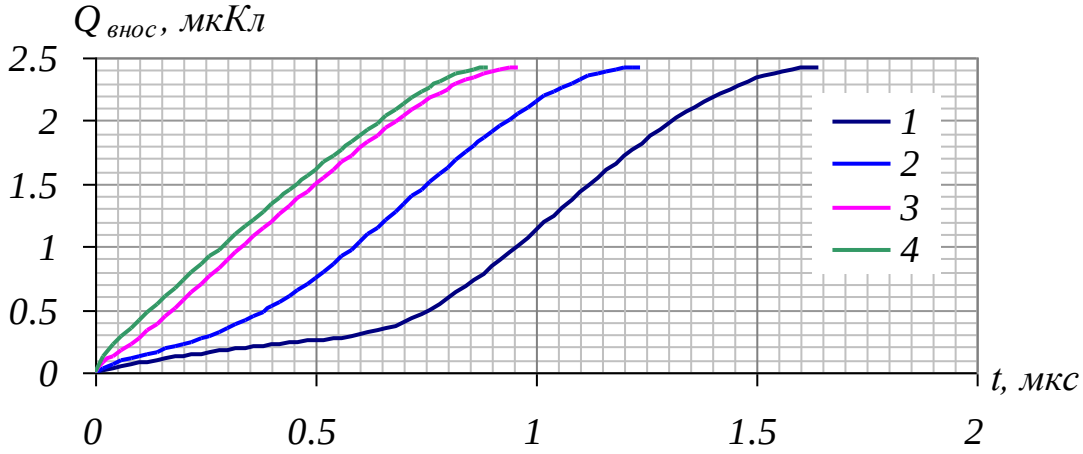


Рис. 3 — Временные зависимости вносимого заряда $Q_{внос}$ при различных импульсах напряжения u_D в закрытом состоянии тиристоров

На основании результатов моделирования переходных процессов в тиристорной структуре при воздействии импульсов напряжения в закрытом состоянии с различной длительностью нарастания напряжения на интервале до 5% U_{DM} выявлено следующее:

– форма ёмкостного тока i_c существенно зависит от длительности этапа этого нарастания, причём, чем меньше эта длительность, тем больше амплитуда этого тока;

– максимальная величина вносимого заряда $Q_{внос}$ по окончании испытания одинакова для всех исследуемых вариантов формирования импульсов напряжения в закрытом состоянии.

Результаты данного моделирования позволят в дальнейшем оптимизировать схемотехническую реализацию устройства для контроля $(du_D/dt)_{crit}$ силовых тиристоров.

Список литературы

1. Расчёт силовых полупроводниковых приборов / под ред. В.А. Кузьмина. М. : Энергия, 1980. 184 с.

2. ГОСТ 24461-80. Приборы полупроводниковые силовые. Методы измерений и испытаний. М. : Издательство стандартов, 1990. 64 с.

3. Способ определения вольт-фарадной характеристики силовых полупроводниковых приборов / Н.Н. Беспалов, В.П. Глебочкин. Пат. 2456628 Рос. Федерация. № 2011106657/28; заявл. 22.02.11; опубл. 20.07.12.

4. *Беспалов Н.Н., Глебочкин В.П., Лебедев С.В.* Метод и аппаратно-программный комплекс для определения вольт-фарадных характеристик силовых полупроводниковых приборов // Электроника и электрооборудование транспорта. Томилино. 2012. №5–6. С. 40—43.

5. *Евсевьев Ю.А., Дерменжи П.Г.* Силовые полупроводниковые приборы / М.: Энергоиздат, 1981. 472 с.

05.13.06

Н.В. Бильфельд

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Березниковский филиал, кафедра автоматизации технологических процессов,
Березники, bilfeld@bf.pstu.ac.ru

ИДЕНТИФИКАЦИЯ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ОБЪЕКТОВ УПРАВЛЕНИЯ СРЕДСТВАМИ ПАССИВНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Рассмотрены модули пассивной идентификации пакета по многокритериальному исследованию систем управления. Приведен пример пассивной идентификации. Рассмотрен класс объектов, для которых рассмотренный подход себя оправдывает.

Ключевые слова: *пассивная идентификация, объект управления, программные модули.*

Одной из составляющих пакета по многокритериальному анализу систем управления является модуль пассивной идентификации объекта управления. Основная форма модуля приведена на рис. 1.

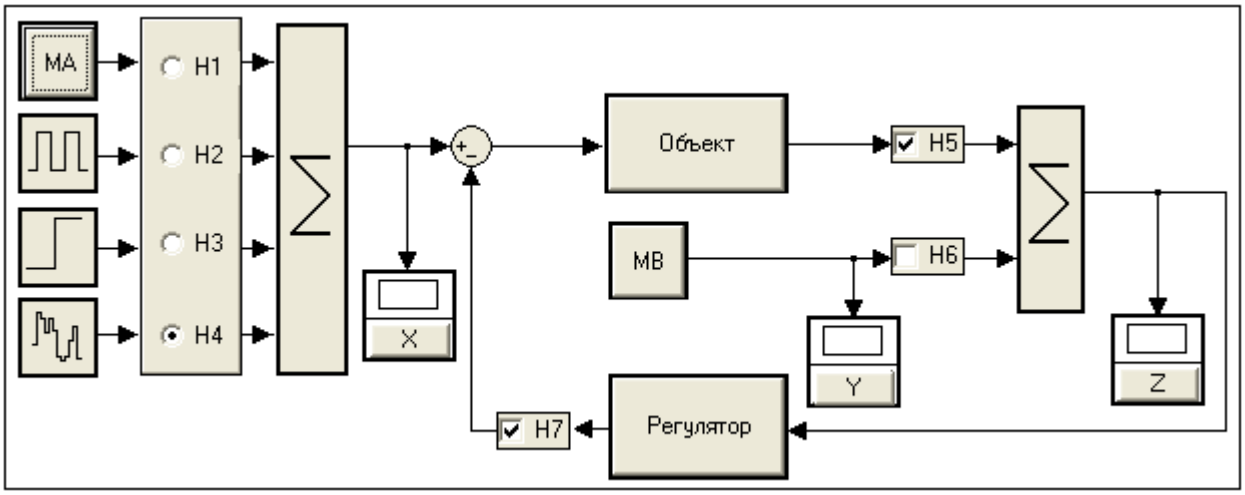


Рис. 1. Основная форма модуля

Суть заключается в следующем. При нажатии на кнопку «MA» открывается окно, позволяющее ввести значения входного сигнала системы (сигнал в точке X). Окно приведено на рис. 2.

Введенные значения можно сохранить в файле, открыть из файла (тренда) и т.д. Аналогичное окно открывается при нажатии на кнопку «MB» для введения значений выходного сигнала (сигнал в точке Y).

Задача заключается в формировании такой передаточной функции объекта управления при известных настроечных параметрах регулятора, чтобы сигнал на выходе модели (сигнал в точке Z) как можно меньше отличался от эталонного сигнала Y, либо отличался с заданной погрешностью. В этом случае объект можно считать идентифицированным с указанной точностью.

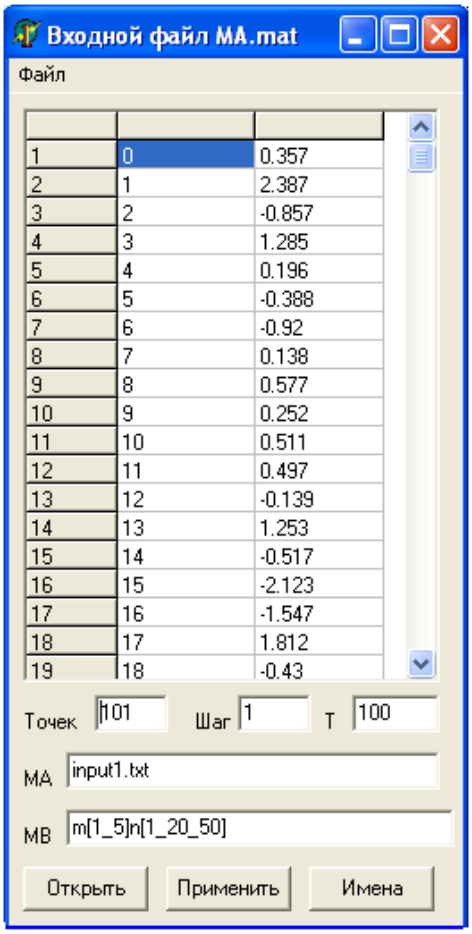


Рис. 2. Формирование входного сигнала системы

Для построения графиков сигналов достаточно нажать на любую кнопку (X, Y, Z). При этом откроется окно, приведенное на рис. 3.

Рассмотрим конкретный пример.

Имеется сигнал реакции замкнутой системы Y на случайный входной сигнал X для передаточной функции объекта

$$W1(s) = \frac{5s+1}{50s^2+20s+1}.$$

При этом настройки регулятора имели значения: Кр=3; Ти=5; Тд=2.

Перейдем на вкладку «Настройки модели», как показано на рис. 4, и введем произвольные значения коэффициентов передаточной, например:

$$W2(s) = \frac{1}{40s^2+15s+1}$$

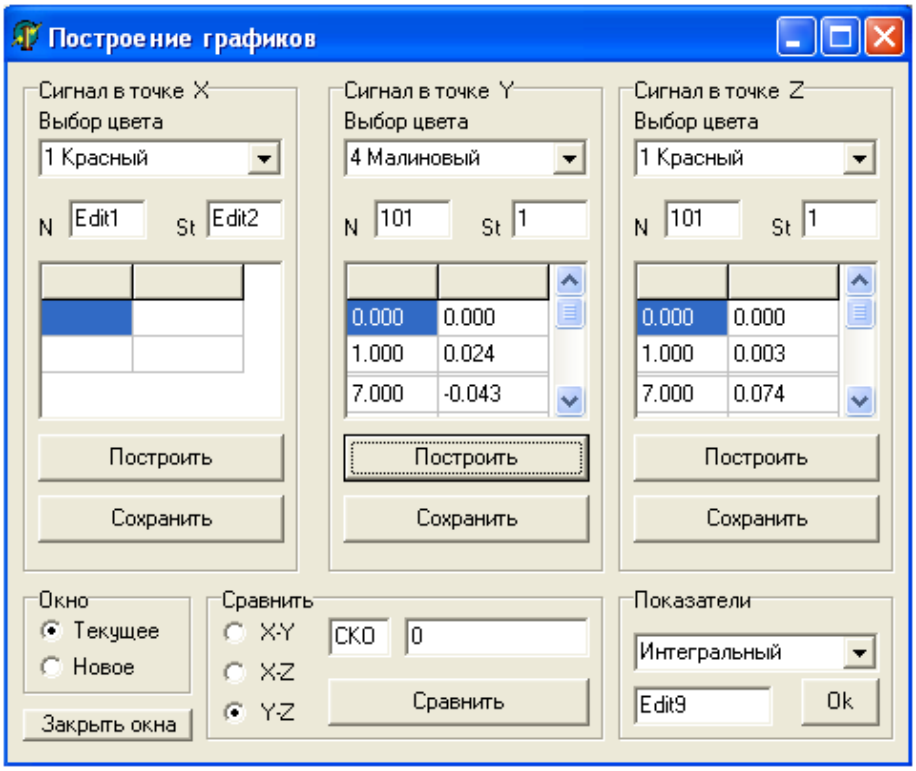


Рис. 3. Модуль построения графиков

Графики сигналов, полученных в точках Y и Z, приведены на рис. 5.

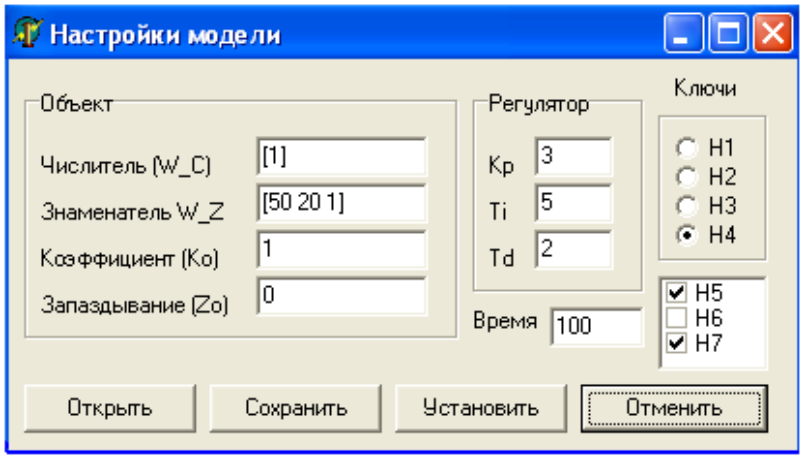


Рис. 4. Окно ввода коэффициентов объекта и регулятора

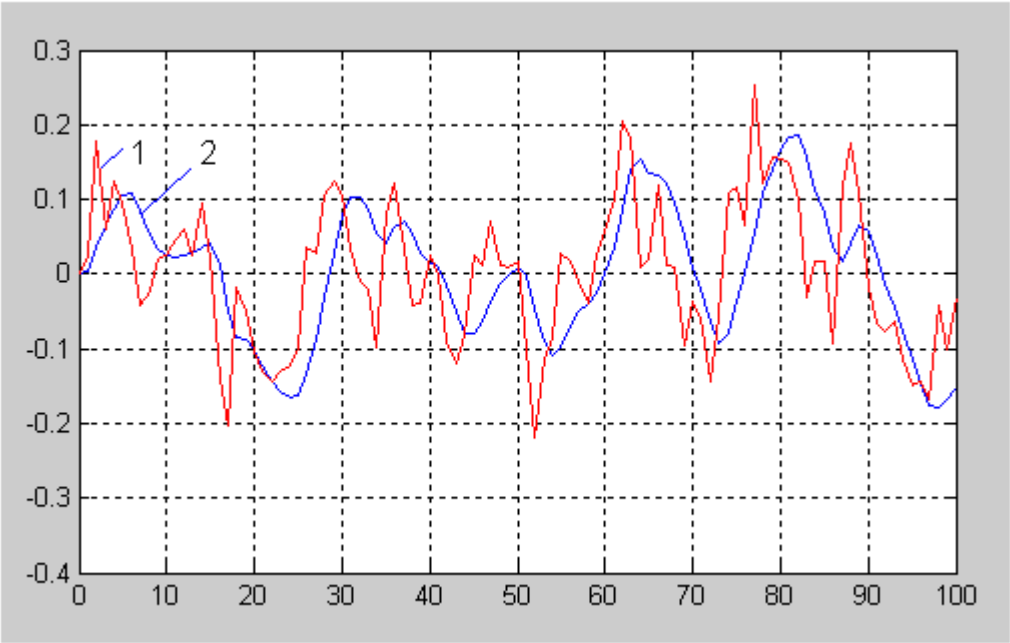


Рис. 5. Графики сигналов, в точках Y(1) и Z(2)

Перейдем на вкладку оптимизации объекта. Введем ограничения, как показано на рис. 6 и нажмем кнопку «Пуск».

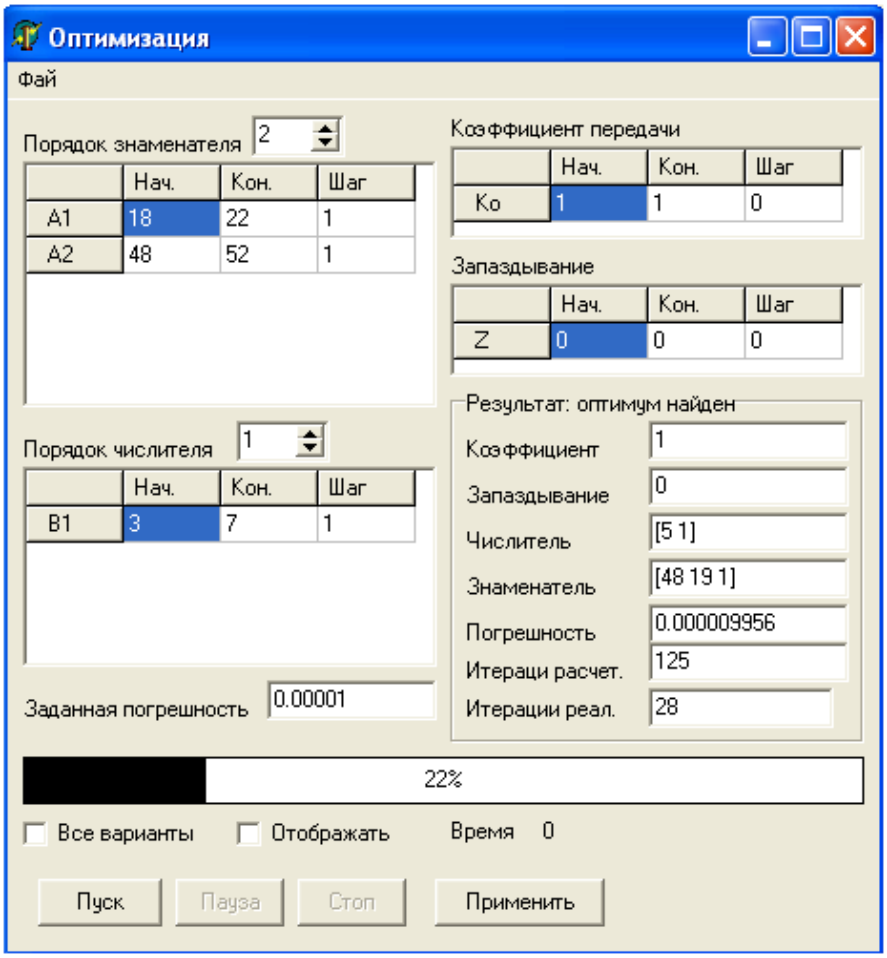


Рис. 6. Вкладка оптимизации объекта.

В результате найдно оптимальные значения коэффициентов передаточной функции объекта. Как видно на рис. 6, это передаточная функция

$$W3(s) = \frac{5s+1}{48s^2+19s+1}$$

Если теперь построить графики сигналов в точках Y и Z, то они практически совпадают, следовательно, идентификация выполнена с необходимой точностью.

При реальных расчетах все не настолько безоблачно, как показано в данном примере. Если мы заранее не знаем порядки числителя и знаменателя передаточной функции и приблизительные ограничения коэффициентов, то время расчета методом сканирования непозволительно велико.

В настоящее время ведутся работы в данной области. Написан специальный модуль для исследования поверхностей на локальные экстремумы с целью анализа возможности использования других методов оптимизации, в частности покоординатного спуска. Также ведутся работы по модификации самих методов оптимизации.

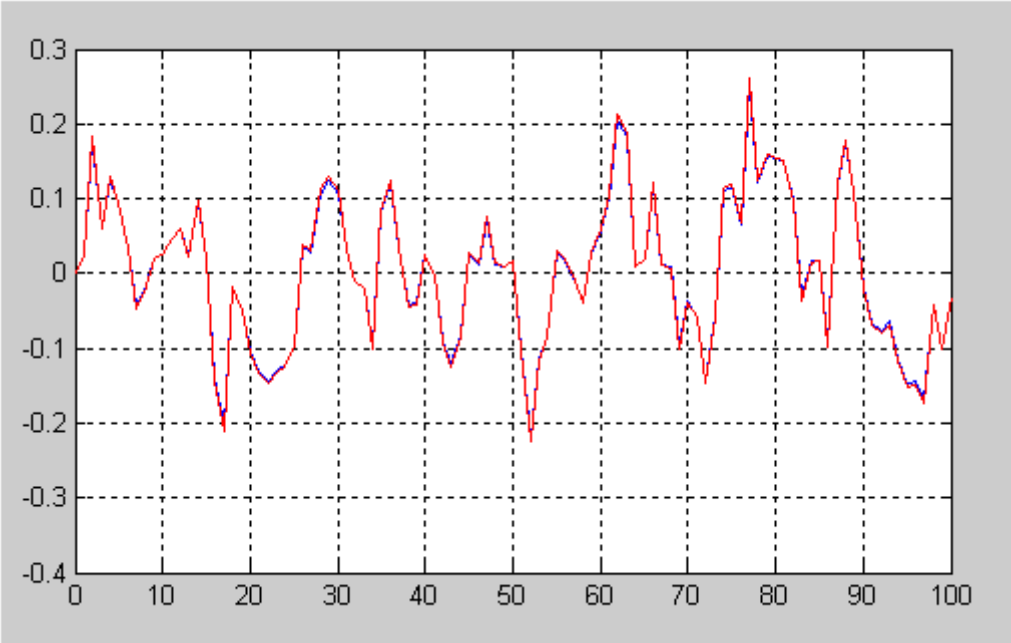


Рис. 7. Графики сигналов, в точках Y и Z

Использование данного метода идентификации не является альтернативой активному эксперименту, даже в тех случаях, когда активный эксперимент по каким-либо причинам провести затруднительно. С другой стороны, данный метод незаменим для нестационарных объектов, параметры которых меняются с течением времени.

В частности, к таким объектам можно отнести процессы восстановления и сепарации титана. Как указывают авторы [2, 3] данные процессы характеризуются нестационарностью с экзотермическим характером реакций, вызывающих значительные температурные градиенты, возникновение в процессе восстановления новых компонентов в различных агрегатных состояниях, наличие в процессе сложной совокупности явлений макрокинетики: испарения и конденсации, диффузии и конвекции и т.д.

Если рассмотреть алгоритм синтеза системы управления для стационарного объекта, то он заключается в следующих пунктах:

1. Проведение активного эксперимента и получение динамики объекта.
2. Получение математического описания объекта на основе его динамических свойств (чаще всего в виде передаточной функции).
3. Расчет настроечных параметров регулятора на основе математического описания.
4. Установка полученных значений на конкретных технических средствах.

Если объект является нестационарным, то перечисленные пункты должна периодически выполнять сама система управления. И здесь как раз и возникают проблемы с первым пунктом нашего алгоритма. В одних случаях это невозможно, как например, в указанных

процессах восстановления и сепарации титана. В других случаях это ведет к постоянным колебаниям в системе управления, что отрицательно сказывается на качестве регулирования.

В этих случаях разработанный комплекс себя вполне оправдывает, так как в большинстве случаев известны ограничения и порядок передаточных функций таких объектов, а их изменения во времени будут учитываться системой с последующей корректировкой настроечных параметров управляющих устройств.

Список литературы

1. *Гайдук Ф.Р., Беляев В.Е., Пьявченко Т.А.* Теория автоматического управления в примерах и задачах с решениями в MATLAB. – СПб.: Издательство «Лань», 2011. – С. 464.
2. *Беккер В.Ф.* Оценка запаздывания температуры в динамике нестационарной сепарации губчатого титана. Научно-технический вестник Поволжья, №2, 2013. – С. 82-84.
3. *Беккер В.Ф., Затонский А.В., Кирин Ю.П.* Идентификация ситуаций функционирования технологических процессов в производстве губчатого титана. Журнал «Информационно-измерительные и управляющие системы». – №9, 2009. – С. 32-36.

05.13.17

П.Д. Блинов

Вятский государственный гуманитарный университет,
факультет информатики, математики и физики,
кафедра прикладной математики и информатики,
Киров, blinoff.pavel@gmail.com

АВТОМАТИЧЕСКОЕ ВЫДЕЛЕНИЕ ИМЕНОВАННЫХ СУЩНОСТЕЙ В РУССКОЯЗЫЧНЫХ ТЕКСТАХ

В статье изложено решение задачи выделения именованных сущностей новостного домена с помощью методов максимизации энтропии и опорных векторов. Приведено краткое описание общих подходов к решению задачи извлечения информации. Указаны характеристики и формат разметки текстового корпуса, замечания о способах оценки качества работы систем выделения именованных сущностей. Приводится вариант признакового пространства для решения указанной задачи и результаты работы исследуемых методов на размеченном тестовом корпусе.

Ключевые слова: *машинное обучение, именованные сущности, метод максимизации энтропии, метод опорных векторов.*

1 Введение

Человеческий язык служит для порождения, передачи и хранения информации об окружающей действительности – знаний [1]. Такие знания чаще всего представлены в виде некоторого текста. Появление первых компьютеров способствовало началу поиска более эффективных, по сравнению с обычным чтением, методов обработки текстовой информации. Развитие сети Интернет и, как следствие, доступность текстовых данных добавляет вопросу ещё бо́льшую актуальность в настоящее время.

Частично решить проблемы качества и скорости восприятия текста можно методами обработки естественных языков. С помощью них можно провести первичный анализ, который отчасти упростит дальнейшую работу с текстом. Например, формирование предварительного представления по некоторым аспектам содержимого коллекции документов позволяет акцентировать внимание на наиболее «интересных» образцах. Такими аспектами содержимого могут являться: общая тематика документа, тональность, ключевые слова, именованные сущности и т.д. Особую важность подобная предобработка приобретает в сферах деятельности, сопряжённых с необходимостью анализа больших массивов документов (социология, PR-менеджмент, конкурентная разведка, журналистика и др.).

Полноценная интеллектуальная система анализа текстов на естественном языке должна иметь в своём арсенале возможность выделения и классификации именованных сущностей (named entity recognition and classification, NERC) [2]. В роли таких сущностей выступают реальные или абстрактные объекты, уникальность которых чаще всего отражена в собственном имени. Виды выделяемых сущностей в основном определяются конкретной предметной областью (доменом). В качестве примеров можно привести: имена людей, названия организаций или медицинских препаратов, формулы белков, интервалы времени и т. п. Качественно выполненное извлечение таких сущностей ещё до прочтения помогает понять, о каких объектах пойдёт речь в тексте. Кроме того, выполняя подобное извлечение, мы готовим основу для решения других задач области извлечения информации (information extraction), таких как разрешение кореферентных и анафорических ссылок, установление свойств и параметров объектов, извлечение отношений между объектами [3].

Цель данной работы – составить признаковое пространство для решения задачи автоматического выделения именованных сущностей и сравнить качество работы методов

максимизации энтропии и опорных векторов в полученном пространстве.

2 Существующие подходы к решению задачи извлечения информации

Исследования в области извлечения информации, в частности выделения именованных сущностей, проводятся с конца 80-х годов прошлого века. Большинство работ посвящено построению и исследованию систем для европейских языков, в особенности английского. Детальное описание общих подходов и конкретных методов можно найти в [3, 4]. Ограничимся лишь хронологическим перечислением основных подходов к решению задачи выделения именованных сущностей [3]:

1) подход на основе правил (rule-based approach). Суть этого подхода заключается в построении экспертами извлекающих правил на специально разработанном для этого языке;

2) подход с использованием методов машинного обучения (machine learning based approach). Идея подхода: формализация исходных данных (размеченного текстового корпуса) и применение алгоритмов обучения для автоматического построения извлекающих правил. Полученные правила имеют вид математических функции;

3) гибридный подход (hybrid approach). Основан на сочетании элементов вышеуказанных подходов.

Стоит отметить повышающийся в последние годы интерес к методам машинного обучения и гибридным подходам. Он связан с возможностью быстрой перенастройки алгоритмов для других предметных областей.

3 Модель представления текстовых единиц

Естественно-языковой текст – это сложный объект социальной природы, который невозможно адекватно выразить простой последовательностью слов. Каждая единица текста (слово, коллокация, предложение) неразрывно связана с внешним миром, социальным и культурным контекстом коммуникативной ситуации, не говоря уже о том, что полноценное понимание текста достигается тем, кто имеет соприкосновение с этой действительностью [1]. По мнению автора, вопросы понимания естественно-языковых текстов хорошо раскрыты в работе [5].

Большинство алгоритмов машинного обучения оперирует абстрактными математическими объектами. Для алгоритма выделения и классификации именованных сущностей объектами являются токены, представленные вектором разнотипных признаков. *Токен* – слово или символьная последовательность, образующая законченный языковой объект [6]. Удачный выбор классификационных признаков в значительной мере определяет качество решения поставленной задачи. Чаще всего в качестве признаков используются характеристики, явно извлекаемые из текста, например, регистр первой буквы, начальная биграмма или часть речи токена. Вариант классификации признаков с примерами можно найти в [4]. Естественно-языковой текст адресован человеку и подразумевает наличие общей коммуникационной среды, а значит некоторых знаний общего характера об устройстве мира (семантики). Чтобы попытаться представить такие знания в модели используют словари, тезаурусы или онтологии [6].

4 Способы оценки

Задача выделения и классификации именованных сущностей несколько специфична с точки зрения процедуры оценки. Фактически оценка качества решения задачи должна выполняться по двум критериям: правильность определения границ именованной сущности и правильность классификации именованной сущности по типу. Наиболее простая стратегия – использовать оценку точного соответствия, т.е. считать сущность выделенной верно, когда правильно указаны её границы и тип. Такой подход позволяет вычислить классические для задач классификации метрики: точность (Precision, P), полноту (Recall, R) и сбалансированную F-меру (F-measure, F_1) [3] для каждого типа сущности. Вся система в целом может быть оценена макро- и микро-усреднением этих значений [3]. Однако для многих прикладных задач оценка точного соответствия является слишком строгой, что породило ряд альтернативных вариантов оценки. Обзор таких способов можно найти в [3, 4].

5 Алгоритмы обучения

В работе исследовались два метода: метод максимизации энтропии и метод опорных векторов, которые представляют машинное обучение с учителем (supervised machine learning). По типу получаемых моделей оба относятся к классу разделяющих моделей (discriminative models), т.е. таких, которые пытаются построить прямое отображение пространства объектов в пространство ответов. Выбранные методы являются наиболее мощными методами машинного обучения. Оба метода показывают хорошие результаты при решении задачи извлечения именованных сущностей [2, 7].

Формальная постановка задачи обучения с учителем: задано пространство объектов *X* и пространство ответов *Y*. По заданному обучающему множеству из *n* элементов (2) аппроксимировать целевую зависимость *y** (1) на всё пространство *X*.

$$y^*: X \to Y, \tag{1}$$

$$\{(\vec{x}_i, y_i)\}_{i=1}^{n} \subset X \times Y, \tag{2}$$

где $\vec{x}_i \in X \subseteq R^d$ – *i*-й объект обучающей выборки, представленный в виде вектора признаков размерности *d*; $y_i \in Y$ – метка класса *i*-го объекта.

5.1 Метод максимизации энтропии

Метод максимизации энтропии (Maximum Entropy Method, MaxEnt) позволяет осуществлять поиск отображения (1) в рамках вероятностного подхода [8]. Последовательность меток сущностей в тексте можно рассматривать как результат деятельности случайного процесса. Задача модели – максимально правдоподобно смоделировать поведение этого случайного процесса, т. е. задать условное вероятностное распределение $p(y|x), y \in Y, x \in X$, где *Y* – множество меток сущностей, *X* – множество входных векторов. Такое распределение должно согласовываться с обучающими данными, но одновременно должно быть настолько равномерным насколько это возможно [8]. Соблюсти оба этих требования можно используя принцип максимизации энтропии. Последняя является математической мерой равномерности распределения. Формула вычисления энтропии конкретного распределения имеет вид:

$$H(y|x) = -\sum_{(x,y)\in Z} p(y,x) \log p(y|x), \tag{3}$$

где $Z = X \times Y$ – декартово произведение множеств X и Y.

Целевой функцией (1) в таком случае будет [8]:

$$p^*(y|x) = \arg\max_{p(y|x)\in P} H(y|x), \tag{4}$$

где *P* – допустимое множество распределений, согласующихся с обучающим множеством.

5.2 Метод опорных векторов

Данный метод относится к группе ядерных методов классификации и имеет в своей основе мощное теоретическое обоснование [9]. Как известно, базовый метод опорных векторов (Support Vector Machines, SVM) пытается произвести разделение обучающих данных на два класса гиперплоскостью, стараясь максимизировать ширину зазора (полосы) между ближайшими (опорными) объектами [9]. Уравнение гиперплоскости разделяющей объекты различных классов имеет вид:

$$\vec{w}^T \vec{x} + w_0 = 0, \tag{5}$$

где $\vec{x} \in R^d$ – вектор признаков объекта; $\vec{w} \in R^d$ – вектор нормали гиперплоскости; $w_0 \in R$ – значение скалярного произведения.

Нахождение параметров $\vec{w}$ и w_0 сводится к решению задачи условной оптимизации. Оптимальное положение разделяющей гиперплоскости находится минимизаций нормы

вектора $\vec{w}$. В итоге целевая функция (1) принимает вид:

$$y(\vec{x}) = sign(\vec{w}^T \vec{x} + w_0). \quad (6)$$

Существенным преимуществом метода является то, что задачу можно решить даже при отсутствии линейной разделимости обучающей выборки в исходном пространстве признаков. Функции ядра позволяют преобразовать исходное пространство к пространствам большей размерности, в которых выборка может оказаться линейно разделимой.

6 Текстовый корпус

В настоящее время имеется явный дефицит доступных размеченных русскоязычных данных, поэтому в ходе исследования был размечен корпус документов новостного домена, состоящий из статей одного интернет-издания. При разметке максимально соблюдались принципы, использовавшиеся на конференции CONLL 2003 [2]. Традиционное для новостного домена множество именованных сущностей (PERson – антропоним, LOCation – топоним, ORGanization – название организации и MISCellaneous – прочее название) было дополнено двумя типами: Date And Time – выражение времени и MONey – денежная сумма. Количественные характеристики корпуса отражает таблица 1.

Таблица 1 – Характеристики русскоязычного корпуса

Количество	Статей	Токенов	PER	ORG	LOC	MISC	DAT	MON
Обучающее множество	298	173415	1937	1301	1911	978	1638	363
Тестовое множество	99	64531	864	517	741	341	529	173
Всего:	397	237946	2801	1818	2652	1319	2167	536

Для выделения сущностей использовался формат разметки сущностей – кодировка IOB (Inside Outside Beginning) [2]. В такой кодировке каждый токен может быть либо началом, либо продолжением сущности, либо вообще не являться сущностью. Кодировка IOB предназначена для корректного отделения друг от друга двух подряд идущих сущностей одного типа. На практике такие случаи встречаются довольно редко. Существует упрощённый вариант – кодировка IO (Inside Outside). В таком случае непрерывные последовательности сущностей одного типа считаются единичными сущностями в кодировке IOB. На рисунке 1 представлен размеченный фрагмент текста в обеих кодировках.

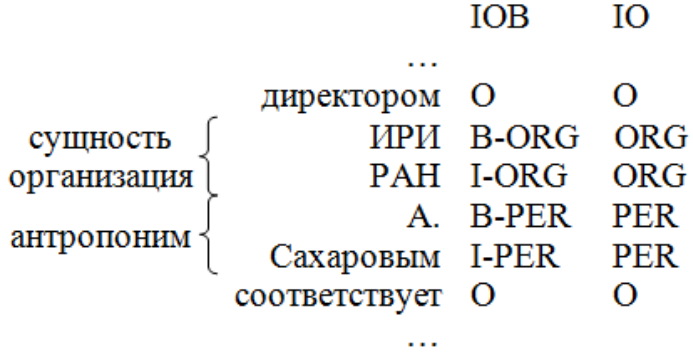


Рис. 1 – Варианты разметки именованных сущностей

7 Результаты экспериментов

Для подготовки текстового корпуса, построения признакового пространства и реализации выбранных методов машинного обучения было реализовано программное приложение на языке C# для платформы Microsoft .NET. Морфологический анализ выполнен с использованием программы mystem [10]. Для реализации алгоритмов обучения использовались библиотеки SharpEntropy [11] и LIBSVM [12].

Признаки, использовавшиеся для представления *i*-го токена, перечислены в таблице 2.

Таблица 2 – Классификационные признаки

№	Название	Описание
1	Stem	Нормальная форма
2	POS	Часть речи
3	Mask	Строка, полученная из текущего токена следующим преобразованием: цифры заменяются на ‘d’, прописные и строчные буквы заменяются на ‘X’ и ‘x’ соответственно, символы пунктуации, кроме ‘,’ и ‘.’, заменяются на ‘-’. Последовательности ‘X’, ‘x’ и ‘d’ сокращаются до 2-х символов.
4	POS–2	Часть речи токена с индексом *i*–2
5	POS–1	Часть речи предыдущего токена
6	POS+1	Часть речи следующего токена
7	Shape	Целочисленное значение: все буквы прописные – 1; слово содержит цифры – 2; целое число – 3; дробное число – 4; остальные случаи – 0
8	Shape–1	То же что и 7 для токена с индексом *i*-1
9	Shape+1	То же что и 7 для токена с индексом *i*+1
10	BQuotes	Токен между кавычек – 1, иначе 0
11	NTag–1	Метка сущности предыдущего токена
12	SurnList	1, если токен или его нормальная форма находится в списке, содержащем имена, отчества и фамилии, иначе 0
13	LocList	1, если предыдущая, текущая или следующая нормальные формы содержатся в списке слов характеризующих тип сущности LOC, иначе 0
14	SBigr	Начальная биграмма

Для оценки работы системы по каждому типу сущности использовался Perl-скрипт [13].

Результаты применения традиционного (многоклассового) варианта метода опорных векторов оказались очень низкими. Макро F_1 мера для всей системы составила около 27%. Это произошло потому, что в процессе классификации были проигнорированы корреляции и ограничения, существующие между метками сущностей. Взаимосвязь между классифицируемыми объектами не позволяет принимать решение в отрыве от остальных объектов. Добиться приемлемого решения всё же возможно с использованием структурного метода опорных векторов. Эта модификация базового алгоритма SVM специально предназначена для случаев, когда выходные данные представляют сложный объект с внутренней структурой, например, последовательность меток классов. Использовалась реализация SVM^{hmm} из пакета SVM^{struct} [14]. Эта реализация комбинирует методы скрытых марковских моделей и опорных векторов.

В таблице 3 показаны результаты методов максимизации энтропии и структурного метода опорных векторов для каждого типа сущности и макроусреднённые значения для всей системы.

Таблица 3 – Точность (P), полнота (R), и F1-мера (%)

	MaxEnt			SVM^{hmm}		
Entity	P	R	F1	P	R	F1
DAT	86,08	57,28	68,79	78,50	75,24	76,83
LOC	89,54	88,93	89,23	77,41	76,79	77,10
MISC	92,47	75,66	83,22	62,93	54,25	58,27
MON	97,28	82,66	89,38	91,72	83,24	87,27
ORG	95,16	83,75	89,09	66,67	58,8	62,49
PER	98,06	87,73	92,61	90,92	93,87	92,37
Overall	93,10	79,34	**85,39**	78,03	73,70	**75,72**

По результатам тестирования метод максимизации энтропии показывает лучшие результаты. Причиной низких результатов метода SVM могли стать неудачно выбранные классификационные признаки.

8 Заключение

В статье описан опыт решения задачи выделения именованных сущностей в русскоязычных текстах с помощью методов машинного обучения. Во время подготовки

статьи решены следующие задачи:

- подготовлен корпус документов для обучения и тестирования;
- сформировано признаковое пространство для решения задачи;
- реализованы две модели выделения именованных сущностей и произведена их оценка.

Стоит указать практические замечания, которые нужно было учесть при выполнении исследования. При составлении корпуса не следовало ограничиваться одним источником документов, иначе в корпусе начинает прослеживаться некоторая стилистическая и графематическая однообразность, связанная с определённым автором или редакцией. Например, при упоминании персоналий предпочтение чаще всего отдаётся варианту написания И.О. Фамилия. Также необходимо добиваться более качественного выполнения процедур этапа предобработки (токенизация, морфологический анализ, деление на предложения), так как допущенные ошибки сохраняются на всех последующих этапах обработки текста.

Результаты статьи послужат базой для дальнейших исследований задач области извлечения информации.

Список литературы

1. *Большакова, Е.И.* Автоматическая обработка текстов на естественном языке и компьютерная лингвистика [Текст] / Е.И. Большакова, Э.С. Клышинский, Д.В. Ландэ, А.А. Носков, О.В. Пескова, Е.В. Ягунова; М.: МИЭМ, 2011. – 272 с.

2. *Tjong Kim Sang, Erik F.* Introduction to the CoNLL-2003 Shared Task: Language-Independent Named Entity Recognition. / Erik F. Tjong Kim Sang, Fien De Meulder // Proceedings of the seventh conference on Natural language learning at HLT-NAACL 2003. – 2003. Vol. 4. – P. 142-147.

3. *Moens M.-F.* Information Extraction: Algorithms and Prospects in a Retrieval Context [Текст] / Marie-Francine Moens. – Springer, 2006. – 264 с.

4. *Nadeau, D.* A survey of named entity recognition and classification / D. Nadeau, S. Sekine // Lingvisticae Investigationes. – 2007. Vol. 30, №1. – P. 3-26.

5. *Витгенштейн, Л.* Философские исследования // Новое в зарубежной лингвистике. – 1985. – № 16. С. 79-128.

6. *Куршев, Е.П.* Роль знаний в системах извлечения информации из текстов / Е.П. Куршев, Е.А. Сулейманова, И.В. Трофимов // Программные системы: теория и приложения. – 2012. № 3. – С. 57-70.

7. *Isozaki, H.* Efficient Support vector classifiers for named entity recognition / H. Isozaki, H. Kazawa // Proceedings of the 19th international conference on Computational linguistics. – 2002. Vol. 1. – P. 390-396.

8. *Berger, Adam L.* A maximum entropy approach to natural language processing / Adam L. Berger, Vincent J. Della Pietra, Stephen A. Della Pietra // Computational Linguistics. – 1996. Vol. 22. – P. 39-71.

9. *Вапник, В.Н.* Восстановление зависимостей по эмпирическим данным [Текст] / В.Н. Вапник; М.: Изд-во «Наука», 1979. – 448 с.

10. Программа mystem. URL: http://company.yandex.ru/technology/mystem (дата обращения: 17.01.2013).

11. Библиотека SharpEntropy. URL: http://www.codeproject.com/Articles/11090/Maximum-Entropy-Modeling-Using-SharpEntropy (дата обращения: 17.01.2013).

12. LIBSVM – A library for support vector machines. URL: http://www.csie.ntu.edu.tw/~cjlin/libsvm/ (дата обращения: 17.01.2013).

13. A Perl script for performance measuring. URL: http://www.cnts.ua.ac.be/conll2000/chunking/output.html (дата обращения: 17.01.2013).

14. SVM^{hmm} Sequence Tagging with Structural Support Vector Machines. URL: http://www.cs.cornell.edu/people/tj/svm_light/svm_hmm.html (дата обращения: 17.01.2013).

05.22.07

А.П. Буйносов д.т.н., Д.К. Зенович

Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС),
кафедра «Электрическая тяга»,
Екатеринбург, byinosov@mail.ru, shaman_igg@mail.ru

АНАЛИЗ ПРИЧИН ОТКАЗОВ ОСЕЙ КОЛЕСНЫХ ПАР ЭЛЕКТРОВОЗОВ

В статье приводится анализ отказов осей колесных пар грузовых электровозов постоянного тока, причины и факторы возникновения отказов приводящих к браковке осей.

Ключевые слова: *электровоз, колесная пара, ось, анализ, отказ, причины.*

Колесные пары являются одной из самых ответственных частей электровозов, а их неисправности представляют прямую угрозу безопасности движения железнодорожного подвижного [1, 2]. Отказы в этом узле несут значительные потери связанные с задержкой поездов [3, 4]. Задержки из-за неисправности колесных пар в 2012 г. на сети железных дорог общего пользования России составили около 15 % [5] от общего количества всех неисправностей электровозов в эксплуатации.

Согласно ГОСТ 11018-2011 ось колесной пары электровоза состоит из подступичных и предподступичных частей, шеек под моторно-осевые подшипники (МОП) и буксовые подшипники, средней части.

В таблице приведены полученные в 2012 г. статистические данные о выхода из строя осей колесных пар электровозов ВЛ11 в ремонтных локомотивных депо Пермь и Свердловск (ТЧР-32 и ТЧР-33).

Таблица

Распределение количества отказов осей колесных пар по ремонтным депо и причинам в 2012 г.

Месяц	ТЧР-32					ТЧР-33				
	причины отказов осей колесных пар									
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
январь	6		1	1		1			1	
февраль	1					2			1	
март	3	2		1		1	1	1		
апрель	3			1		2	2			
май	3	1		2					1	
июнь	5	1				3	1			
июль	3					1	1		2	
август	6					3			4	
сентябрь	1					1	1	1	1	
октябрь	2	1		1		3			2	
ноябрь	6	1			1	1	1		1	
декабрь	1			1		2				
Итого	40	6	1	7	1	20	7	2	13	0
	55					42				
	97									

В таблице и на рисунке причины отказов: 1 – износ шейки оси под моторно-осевой подшипник; 2 – износ шейки оси под буксовый подшипник; 3 – ось не прошедшая ультразвуковой контроль (УЗК) дефектоскопом УД-102 согласно инструкций ОАО «РЖД» ЦТт-18/3 и ЦТ/329; 4 – предельный износ подступичной части оси; 5 – изгиб оси.

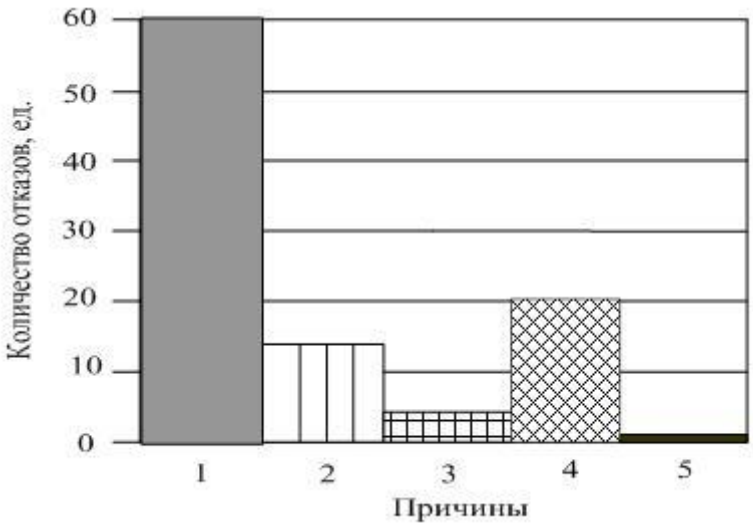


Рис. Количество отказов осей колесных пар по причинам

Таким образом, основная причина выхода из строя осей колесных пар электровозов – износ шейки оси под МОП (60 отказов в 2012 г.). Эта причина является следствием нарушения допусков при сборке [6], плохая подача (или отсутствие) смазки, а так же попадание в МОП посторонних предметов, таких как песок и пыль [7]. Кроме того, износ шейки оси зависит от степени загрязнения используемой смазки абразивными частицами, которые внедряются в антифрикционный материал подшипника (баббит) и повреждают поверхность оси колесной пары электровоза [8].

В ходе проведения исследований в Уральском государственном университете путей сообщения (УрГУПС) и анализа неисправностей осей колесных пар была выявлена так же проблема разрушения (излома) оси в зоне посадки МОП [9]. Нарушение нормального взаимодействия пары трения «ось–МОП» происходит из-за неудовлетворительного качества ремонта в депо и установки моторно-осевого подшипника с перекосом относительно ступицы колеса [10], а так же из-за коробления корпусов вкладышей во время наплавки буртов [11]. Некачественный ремонт и неправильная установка моторно-осевого подшипника приводят к нарушению нормального взаимодействия антифрикционного слоя корпуса МОП и поверхности оси, в результате чего наблюдается преждевременное истирание баббитовой заливки подшипника [12]. При этом происходит непосредственное взаимодействие стали оси с латунью корпуса подшипника, которое приводит к выгоранию смазки со значительным повышением температуры в зоне контакта, что способствует выплавке баббита из периферийных зон и к выделению расплава на основе меди из латунного корпуса МОП [13]. Являясь поверхностно-активным веществом и обладая высокой проникающей способностью, медь проникает в разогретый поверхностный слой шейки оси под МОП, и, скопившись по границам зерен, под влиянием расклинивающего действия («эффект Ребиндера») приводит, как показали проведенные ранее исследования [14–16], к образованию начальных трещин в поверхностном оси колесной пары [17, 18].

Список литературы

1. *Буйносов А.П.* Основные причины интенсивного износа бандажей колесных пар подвижного состава и методы их устранения. Екатеринбург: УрГУПС, 2009. 224 с.
2. *Буйносов А.П., Худояров Д.Л.* Повышение ресурса бандажей колесных пар электровозов ВЛ11 // Железнодорожный транспорт. 2010. № 9. С. 51-53.
3. *Буйносов А.П.* Применение триботехнического состава для повышения ресурса бандажей до обточки колесных пар электроподвижного состава // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 4. С. 49-53.
4. *Буйносов А.П., Пышный И.М.* Результаты применения системы гребнесмазывания АГС-8 на промышленном железнодорожном транспорте // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 4. С. 64-68.
5. *Буйносов А.П., Козаков Д.Ю.* Анализ процессов эксплуатационного износа гребней бандажей колесных пар электровозов // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 3. С. 79-84.
6. *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.
7. *Буйносов А.П., Стаценко К.А., Бган Е.В., Мишин Я.А.* Исследование причин повреждения подшипников тяговых двигателей электровозов // Научно-технический вестник Поволжья. 2013. № 1. С.113-116.
8. *Буйносов А.П., Мишин Я.А.* Анализ отказов узлов электровозов постоянного тока на основе закона Парето // Научно-технический вестник Поволжья. 2013. № 2. С. 97-100.
9. *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.
10. *Буйносов А.П., Мишин Я.А.* Анализ надежности узлов электровозов ВЛ10 и ВЛ11 на основе диаграммы Исикавы // Научно-технический вестник Поволжья. 2013. № 2. С. 93-96.
11. *Буйносов А.П., Стаценко К.А., Бган Е.В.* Методика определения прочности посадки деталей с натягом у сформированных колесных пар локомотивов // Естественные и технические науки. 2012. № 6. С. 586-588.
12. *Буйносов А.П., Пышный И.М.* Ресурс бандажей колесных пар продлевает упрочнение // Технология машиностроения. 2012. № 6. С. 44-46.
13. *Буйносов А.П., Стаценко К.А., Бган Е.В., Гузенкова Е.А., Мишин Я.А.* Повышение надежности роликовых подшипников тяговых двигателей электровозов постоянного тока // Научно-технический вестник Поволжья. 2013. № 1. С. 117-120.
14. *Буйносов А.П., Тихонов В.А*. Наноматериал увеличит срок службы бандажей колесных пар // Научное обозрение. 2011. № 5. С. 266-274.
15. *Буйносов А.П., Наговицын В.С.* Новый смазывающий состав повышает надежность // Локомотив. 1998. № 7. С. 34-36.
16. *Буйносов А.П., Мишин Я.А.* Повышение надежности тяговых редукторов электровозов // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 3. С. 85-89.
17. *Буйносов А.П., Стаценко К.А., Бган Е.В., Мишин Я.А.* Разработка способа предупреждения монтажных задиров якорных подшипников тяговых электродвигателей электровозов // Научно-технический вестник Поволжья. 2013. № 1. С. 121-124.
18. *Буйносов А.П., Пышный И.М.* Разработка блока управления системы гребнесмазывания тепловозов ТЭМ2 и ТЭМ18 // Научное обозрение. 2012. № 4. С. 188-193.

05.22.07

А.П. Буйносов д.т.н., Д.К. Зенович

Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС),
кафедра «Электрическая тяга»,
Екатеринбург, byinosov@mail.ru, shaman_igg@mail.ru

ВЫБОР СПОСОБА ВОССТАНОВЛЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ОСЕЙ КОЛЕСНЫХ ПАР ЭЛЕКТРОВОЗОВ

В статье проанализированы способы восстановления работоспособности осей колесных пар грузовых электровозов постоянного тока которые можно использовать в ремонтных локомотивных депо.

Ключевые слова: *электровоз, колесная пара, ось, работоспособность, восстановление.*

Опубликованные результаты исследований посвящены анализу и способам повышения долговечности пары «колесо–рельс» [1], повышению надежности буксовых подшипников [2], выбору оптимальной конфигурации профиля поверхности катания бандажей колесных пар электровозов [3, 4]. Работы по повышению надежности осей колесных пар электровозов практически отсутствуют.

Одна из основных причин, по которой бракуют ось колесной пары электровоза – предельный износ шейки оси под моторно-осевой подшипник (60 отказов в 2012 г.).

Согласно ГОСТ Р 52028-2003, изнашивание – процесс разрушения и отделения материала с поверхности твердого тела и (или) накопления его остаточной деформации при трении, проявляющейся в постепенном изменении размеров и (или) формы тела (детали).

Износ оси колесной пары происходит под воздействием химических, тепловых, либо же механических факторов [5]. Это неизбежный естественный процесс. Большое влияние на износ оси оказывают силы трения, обусловленные взаимным движением сопряженных деталей [6].

Исследования фрагментов поврежденных моторно-осевых подшипников (МОП) и отбракованных осей показали такие недостатки как: наличие газовых пор, несоответствие химического состава латуни корпусов требованиям ГОСТ 520-2002, неоднородность структуры и твердости латуни [7]. Эти недостатки неспособны привести к возникновению аварийной ситуации, но могут оказать серьезное влияние на надежность пары «ось колесной пары–МОП» [8].

Проблема выбраковки из-за износа осей в зоне контакта с МОП крайне актуальна, в виду ее экономической целесообразности, ведь стоимость восстановления оси гораздо ниже стоимости новой.

На сегодняшний день существует множество способов восстановления работоспособности деталей подверженных износу, рассмотрим самые перспективные, которые можно использовать в ремонтных локомотивных депо.

Первый способ восстановления изношенных поверхностей шеек осей колесных пар подвижного состава – лазерная наплавка [9]. Лазерная наплавка создает на поверхности изделия плакирующий слой из порошкового материала с проплавлением его посредством лазерного луча. Он имеет ряд преимуществ перед другими источниками нагрева: возможность локальной обработки поверхности, отсутствие термических поводок, минимизация зоны термического влияния. Недостатками этого способа являются сложность аппаратурного оформления и низкая производительность обработки при износе поверхности осей глубиной более 0,7 мм.

Известен способ восстановления осей колесных пар железнодорожного подвижного состава, включающий устранение выработок посадочных поверхностей под буксовые

подшипники и ступицы колесных центров в пределах их ремонтных размеров [10]. При способе ремонта под ремонтный размер с основной детали снимают слой металла с сохранением первоначального допуска на размер. Сопряженная же деталь изготовляется под ремонтный размер основной детали. Недостатками данного способа является увеличение номенклатуры деталей, частичная потеря взаимозаменяемости (так как в ремонтных депо чаще всего отсутствуют детали ремонтных размеров), а так же сложность процесса восстановления изношенной поверхности осей за счет больших циклических нагрузок при высоких температурах, которые могут деформировать составные детали [11].

Так же для восстановления изношенных поверхностей шеек осей колесных пар возможно применение электродуговой металлизацией напылением. Процесс металлизации распылением состоит в непрерывным плавлением металла покрытия, распылением его на восстанавливаемую поверхность. Осевшие частицы деформируются и образуют металлизационное покрытие со слоистым строением [12]. При этом температура нагрева детали в ходе металлизационного напыления не превышает 120 °С. Основными недостатками металлизации считается недостаточная андгезия и когезия, и высокая степень пористости [13].

Еще один способ – высокоскоростное газопламенное напыление (HVOF). Сущность этого способа восстановления работоспособности заключается в нагреве порошковых частиц с одновременным ускорением их при напылении до сверхзвуковых скоростей. Порошковые частицы посредством газовой струи переносятся на деталь. В качестве напыляемых материалов используются различные металлические и металлокерамические порошки [14].

Плазменное напыление. В качестве плазмообразующего газа используется аргон, а в качестве вторичного газа – водород, азот или гелий. Для напыления может использоваться практически любой порошковый материал – металлические сплавы, металлокерамика и керамика.

Общим недостатком различных методов напыления является недостаточная прочность связи на поверхности раздела «покрытие–подложка», что не позволяет полностью реализовывать все потенциальные возможности повышения износостойкости покрытий с частицами твердых фаз.

Наиболее перспективным направлением в решении проблемы уменьшения износ в процессе трения сопряженных деталей является обработка поверхностей нанопорошковыми материалами [15]. Благодаря применению наноматериалов можно значительно увеличить износостойкость и как следствие ресурс работы детали [16].

В настоящее время активно применяются для восстановления работоспособности агрегатов различной техники и оборудования нановещества основанные на фуллернах, вводимых в смазочные материалы, которые обеспечивают процесс «износ–восстановление» [17].

Примерами практического использования таких наноматериалов являются: нанопористое антифрикционное покрытие (НАП), нанесение ионного покрытия на детали (НИОД) [18, 19] и ряд других. Однако к существенному недостатку наноматериалов можно отнести необходимость их применения при каждой смене смазки (масла), а с учетом их высокой стоимости использование в подшипниках железнодорожного транспорта, для увеличения ресурса подшипников представляется проблематичным [20].

Из вышесказанного следует о целесообразно наносить нанопокрытия путем напыления их непосредственно на шейку оси колесной пары, но при этом возникает проблема, так как наночастицы имеют низкую массу. В результате чего они не обладают необходимой инерцией, что может привести не осаждению их на подложке. Так же проблемой является сплавление частиц при их газотермическом или плазменном напылении. Решение данных проблем может состоять в использовании золей (нанопорошки диспергированные в растворителе).

Список литературы

1. *Буйносов А.П.* Выбор остаточного проката бандажей при обточке колесных пар электровозов ВЛ11 // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии. 2013. Т. 6. № 2. С. 221-228.
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.* Выбор профиля бандажей колесных пар электровозов ВЛ11 // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. 2012. № 1. С. 169-173.
4. *Буйносов А.П., Пышный И.М.* Восстановление конфигурации профиля бандажей колесных пар промышленных электровозов с помощью наплавки // Мир транспорта и технологических машин. 2012. № 2. С. 59-68.
5. *Буйносов А.П.* Основные причины интенсивного износа бандажей колесных пар подвижного состава и методы их устранения. Екатеринбург: УрГУПС, 2009. 224 с.
6. *Буйносов А.П.* Методы повышения ресурса колесных пар тягового подвижного состава / Монография. М.: ГОУ «УМЦ по образованию на железнодорожном транспорте, 2010. 244 с.
7. *Буйносов А.П., Стаценко К.А., Бган Е.В., Мишин Я.А.* Исследование причин повреждения подшипников тяговых двигателей электровозов // Научно-технический вестник Поволжья. 2013. № 1. С.113-116.
8. *Буйносов А.П., Мишин Я.А.* Повышение надежности тяговых редукторов электровозов // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 3. С. 85-89.
9. *Буйносов А.П., Пышный И.М.* Увеличение ресурса бандажей колесных пар промышленных электровозов с помощью наплавки // Известия Транссиба. 2012. № 2. С. 7-16.
10. *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.
11. *Балдин В.Л., Буйносов А.П., Тихонов В.А*. Повышение долговечности колесных пар за счет упрочнения гребней бандажей локомотивов // Вестник транспорта Поволжья. 2011. № 5. С. 57-60.
12. *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.
13. *Буйносов А.П., Козаков Д.Ю.* Анализ процессов эксплуатационного износа гребней бандажей колесных пар электровозов // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 3. С. 79-84.
14. *Буйносов А.П.* Применение триботехнического состава для повышения ресурса бандажей до обточки колесных пар электроподвижного состава // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 4. С. 49-53.
15. *Буйносов А.П., Тихонов В.А*. Наноматериал увеличит срок службы бандажей колесных пар // Научное обозрение. 2011. № 5. С. 266-274.
16. *Буйносов А.П., Пышный И.М.* Результаты применения нанопористового антифрикционного покрытия на повышение ресурса колесных пар промышленных электровозов // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 6. С. 155-158.
17. *Буйносов А.П., Пышный И.М.* Разработан бортовой локомотивный гребнесмазыватель «твердого» типа // Научно-технический вестник Поволжья. 2011. № 3. С. 92-96.
18. *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.
19. *Буйносов А.П., Кузьмин К.А.* Обработка бандажей составом НИОД // Локомотив. 1996. № 3. С. 25-26.
20. *Буйносов А.П., Наговицын В.С.* Новый смазывающий состав повышает надежность // Локомотив. 1998. № 7. С. 34-36.

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

КОМПЛЕКСНАЯ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА КОЛЕСНЫХ ПАР ЭЛЕКТРОВОЗОВ В ДЕПО

В статье описана комплексная автоматическая информационно-измерительная система технического обслуживания и ремонта на основе использования бесконтактных и контактных методов измерения параметров колесных пар электровоза.

Ключевые слова: *электровоз, колесная пара, депо, техническое обслуживание, ремонт, измерительная система.*

Разновидностью комплексной системы технической диагностики электровозов на железнодорожном транспорте, созданная авторами, является информационно-измерительная система для технического обслуживания (ТО) и ремонта колесных пар [1, 2]. Анализ неисправностей колесных пар электровозов на железнодорожном транспорте показывает, что они существенно влияют на безопасность движения [3]. Поэтому техническое диагностирование и предупреждение отказов колесных пар электровозов в пути следования является одним из самых важных факторов обеспечения безопасности движения поездов [4]. Комплексная информационно-измерительная система технического обслуживания и ремонта колесных пар имеет иерархическую структуру [5], содержащую три уровня (см. рисунок).

Первый уровень структуры включает подсистему контроля параметров колесных пар, выполняющую непрерывное автоматическое измерение параметров при движении электровоза [6] и ручное измерение параметров колесных пар [7, 8] при техническом обслуживании (ТО) и ремонте. Ручное измерение контролируемых параметров колесных пар проводятся с помощью комплексного электронного переносного измерителя параметров колесных пар (КИП) [9, 10], электронного переносного измерителя диаметров колесных пар (ИД) [11]. Выходная информация поступает на программный комплекс контроля нормативных параметров колесных пар и ведения электронных паспортов [12]. Информация результатов ручного измерения вводится в программный комплекс через устройства автоматического и ручного ввода данных. В программный комплекс заранее вводятся нормативные показатели [13].

Программный комплекс обрабатывает информацию, поступающую от систем измерения параметров колесных пар, формирует электронные паспорта на каждую колесную пару соответствующего электровоза, сравнивает результаты измерений с нормативными показателями, систематизирует информационный поток и организует базу данных для передачи на следующий уровень комплексной системы.

Второй уровень структуры содержит автоматизированное рабочее место, которое включает программный комплекс [14] анализа состояния колесного парка электровозов ремонтного локомотивного депо, в которой вводятся нормативные технические параметры элементов колесных пар. Программный комплекс также формирует базу данных [15] для передачи на следующий уровень структуры комплексной системы, выдает информацию для составления отчетных форм и через подсистему планирования ТО и ремонта колесных пар формирует соответствующие данные [16].

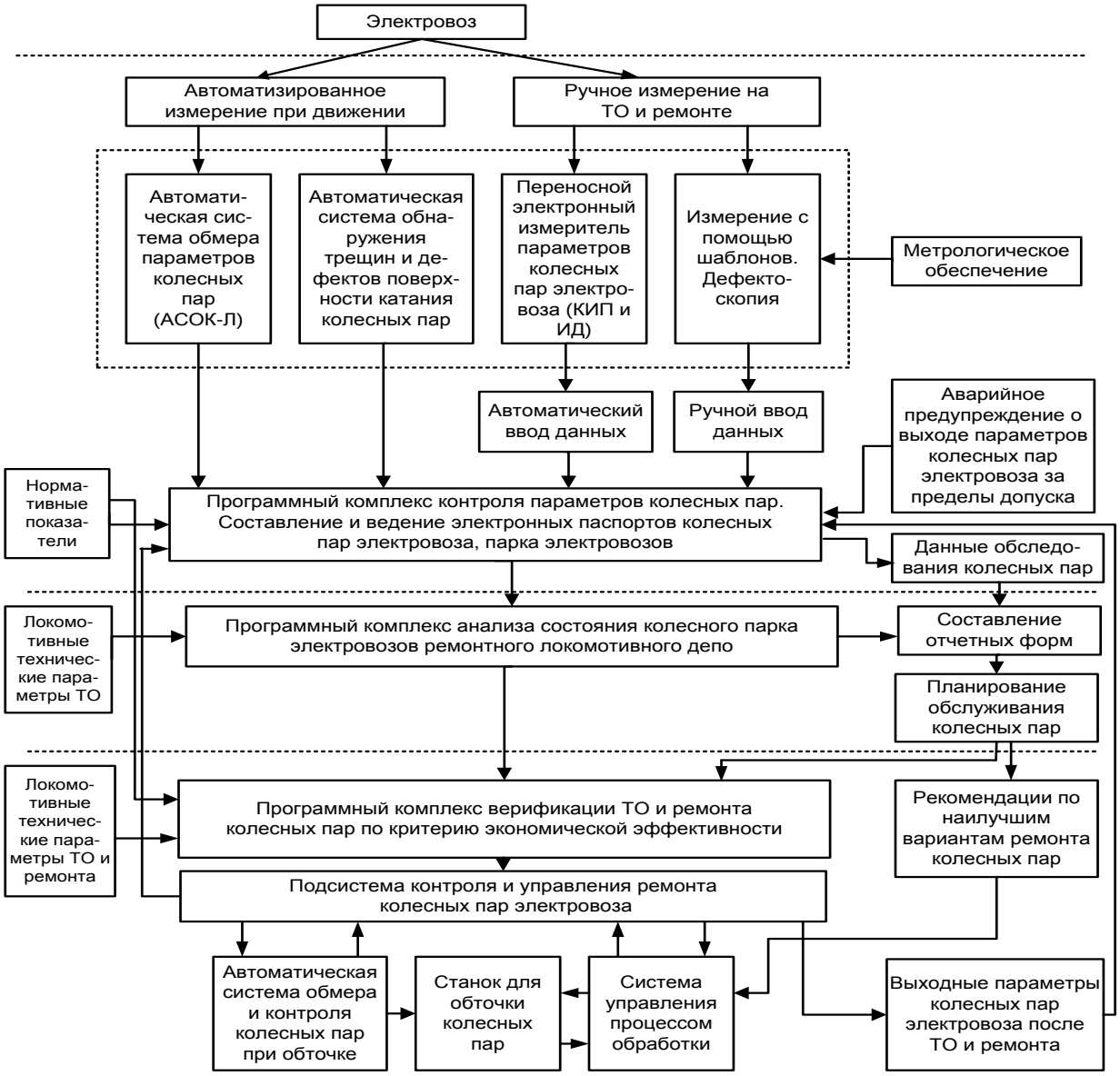


Рис. Структура комплексной информационно-измерительной системы ТО и ремонта колесных пар электровозов

Автоматизированное рабочее место удовлетворяет общим требованиям по выполнению следующих функций [17]: анализировать информацию, используемую для выполнения технико-экономических расчетов; оценивать качество проведения измерений, включая границы поля допуска для контролируемых параметров; протоколировать результаты обмера с выработкой рекомендаций по срокам и объемам ТО и ремонта каждого электровоза [18].

Третий уровень структуры – технологический комплекс наилучшего варианта обточки колесных пар [19]. Он состоит из: программного комплекса для оптимизации технического обслуживания и технологии ремонта колесных пар по критерию экономической эффективности; автоматической системы измерения и контроля колесных пар при обточке [20]; станка для обточки колесных пар; системы управления процессом обработки колесной пары [21].

Автоматическая система обмера колесных пар при обточке формирует информацию для корректировки электронных паспортов соответствующих колесных пар каждого электровоза после замены, ремонта и обточки [22]. Подсистема контроля и управления ремонтом также формирует базу данных по выходным параметрам колесных пар электровоза после ТО и ремонта.

Таким образом, иерархическая структура комплексной информационно-измерительной системы ТО и ремонта колесных пар электровозов в депо позволяет накапливать информацию о техническом состоянии отдельных элементов каждого электровоза, вырабатывать рекомендации по рациональным объемам ремонта, а также устанавливать некоторые зависимости с возможностью получения прогноза о дальнейшей эксплуатации электровоза. Главная цель прогноза – рациональное приближение к максимальному использованию ресурса колесных пар [23]. Прогнозирование способствует максимально точному планированию сроков эксплуатации колесных пар следующего ТО и текущего ремонта электровозов.

Список литературы

1. *Буйносов А.П., Пышный И.М., Тихонов В.А.* Модель эксплуатационного износа сложной технической системы // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2013. № 1. С. 52-57.
2. *Наговицын В.С., Боярских Г.С., Буйносов А.П.* Уральский характер (Свердловской дороге – 120 лет) // Локомотив. 1998. № 10. С. 8-10.
3. *Горский А.В., Буйносов А.П., Медведев Н.Ф., Наговицын В.С.* Правильно измеряйте износ бандажей // Локомотив. 1991. № 12. С. 36-37.
4. *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.
5. *Буйносов А.П., Кислицын А.М.* Структурная схема автоматизированной системы обмера колесных пар локомотивов // Научно-технический вестник Поволжья. 2013. № 1. С. 125-127.
6. *Буйносов А.П., Кислицын А.М.* Измерение и вычисление параметров колесной пары при движении локомотива // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 4. С. 54-58.
7. *Буйносов А.П.* Разработка и аппаратная реализация прибора для измерения геометрических параметров бандажей колесных пар // Транспорт Урала. 2010. № 3. С. 64-68.
8. *Буйносов А.П., Тихонов В.А.* Аппаратная реализация прибора для измерения геометрических параметров бандажей колесных пар // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии. 2013. Т. 6. № 2. С. 211-220.
9. *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.
10. *Буйносов А.П.* Как контролировать разность диаметров бандажей колесных пар // Локомотив. 1991. № 3. С. 35.
11. *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.
12. *Буйносов А.П., Кислицын А.М.* Измерительная система для контроля параметров бандажей колесных пар локомотивов // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 3. С. 73-78.
13. *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.
14. *Буйносов А.П., Наговицын В.С.* Система бесконтактного измерения бандажей // Локомотив. 1995. № 12. С. 27-28.
15. *Буйносов А.П., Калмыков А.А., Елфимов В.И., Наговицын В.С.* Бесконтактное измерение бандажей колесных пар // Железнодорожный транспорт. 1995. № 11. С. 34-36.

16. *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.
17. *Буйносов А.П., Стаценко К.А., Кислицын А.М.* Автоматическая измерительная система для контроля геометрических параметров колесных пар железнодорожного подвижного состава // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2012. № 2(22). С. 146-156.
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.* Восстановление в депо изношенных бандажей промышленных электровозов с помощью наплавки без выкатки колесных пар // Ремонт, восстановление, модернизация. 2013. № 3. С. 04-11.
20. *Буйносов А.П.* Контроль бандажей колесных пар // Локомотив. 1991. № 9. С. 36.
21. *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.
22. *Буйносов А.П.* Методика определения ресурса бандажей колесных пар электровозов // Транспорт: наука, техника, управление. 2013. № 2. С. 37-39.
23. *Буйносов А.П., Пышный И.М.* Продление ресурса бандажей колесных пар // Технология машиностроения. 2012. № 6. С. 44-46.

05.22.07

А.П. Буйносов д.т.н., И.М. Пышный, В.А. Тихонов

Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС),
кафедра «Электрическая тяга»,
Екатеринбург, byinosov@mail.ru, igorkz45@mail.ru, va.tikhonov@yandex.ru

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИЗНАШИВАНИЯ БАНДАЖЕЙ КОЛЕСНЫХ ПАР ЭЛЕКТРОВОЗА

Представлены результаты моделирования процесса изнашивания бандажей колесных пар промышленного электровоза ПЭ2^{М} при наличии в зоне контакта пары «колесо–рельс» триботехнического состава НАП. Расчеты произведены в среде программного комплекса численного интегрирования уравнений движения «Универсальный механизм».

Ключевые слова: *электровоз, колесная пара, бандаж, моделирование, ТС НАП, износ.*

Величина ресурса бандажей колесных пар до обточки зависит от интенсивности износа поверхности гребня и нарастания проката колесных пар [1]. Износ это – изменение массы изделий, их размеров, количества металла в масле или изменение параметров изделия, зависящих от износа поверхностей или сопряжений. Износ бандажей – результат одновременного, совокупного действия множества факторов в процессе трения и встречается в виде проката, выбоин, подреза гребней и др. [2].

Одним из эффективных принципиально новых методов снижения трения, разработанных в последнее время и реализуемых с помощью несложного оборудования [3], использование которого позволяет не только замедлить процесс изнашивания, но и в некоторых случаях восстановить состояние изношенных поверхностей, является обработка трущихся поверхностей триботехническим составом НАП [4].

При движении бандажа колесной пары по рельсу со скоростью v в пятне контакта действует несколько сил: сила продольного крипа F_{cx}, направленная вдоль линии движения и характеризует величину проскальзывания бандажа вдоль оси 0X; сила поперечного крипа F_{cy}, описывает проскальзывание поверхностей бандажа и рельса в плоскости перпендикулярной движению, и направленной вдоль касательной к пятну контакта; результирующая сила F_c; нормальная реакция N, располагается по нормали к месту контакта и зависит от осевой нагрузки электровоза, характеристик рессорного подвешивания и участка движения [5].

Силы, действующие на бандаж первой колесной пары при вписывании в кривую, показаны на рис. 1.

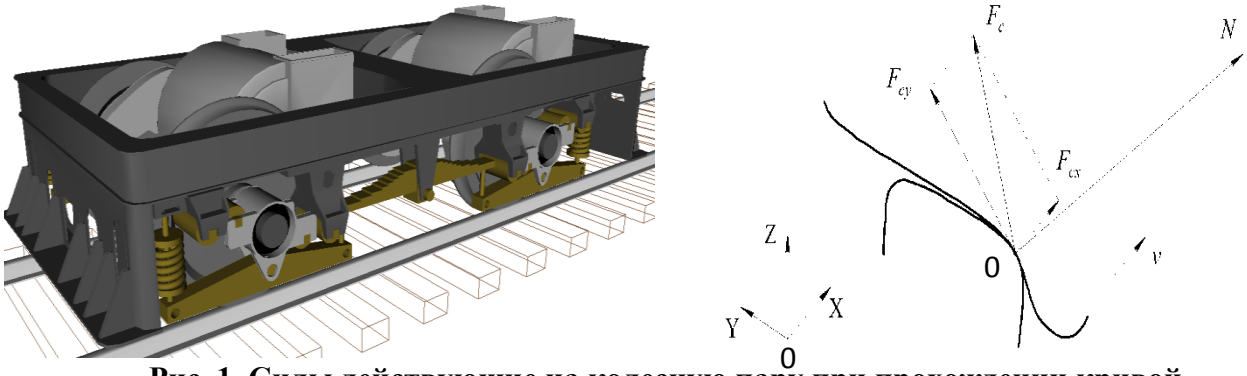


Рис. 1. Силы действующие на колесную пару при прохождении кривой

Во время движения электровоза, сила продольного крипа оказывает наибольшее влияние на износ гребня бандажа, так как вызвана явлением самоцентрирования колесной пары в кривой [6].

Основную сложность при исследовании и моделировании таких систем вызывает описание характеристик третьего тела [7] и зависимостей, связанных с ним. Здесь используются как закономерности механической теории, так и положения трибологии. С учетом некоторых допущений, свойства третьего тела описываются коэффициентом трения μ. Опытным путем было установлено, что коэффициент трения для неизношенных бандажей и рельсов составляет 0,35–0,45, тогда как в процессе эксплуатации он возрастает до 0,50 [5]. Помимо характеристик третьего тела, процесс изнашивания зависит от упругих свойств материалов трущихся поверхностей [8], которые описываются коэффициентом Пуассона, с увеличением которого возрастают упругие свойства материала, а с уменьшением – повышается хрупкость. Для используемой в настоящее время бандажной и рельсовой стали его значение принимается равный 0,28 [5]. Коэффициент Пуассона описывает свойства материала, поэтому зависит главным образом от его качества, который при использовании ТС НАП был уменьшен до значения 0,22 для учета влияния гребневых колодок на качество получаемого стеклокерамического покрытия [9].

Для подтверждения данной гипотезы было проведено моделирование динамики электровоза на реальном участке полигона промышленного предприятия ОАО «Ураласбест», движущегося с начальной скоростью 25 км/ч, по участку пути на рельсах Р65 с профилем по ГОСТ Р 51685-2000, который включает в себя: прямую длиной 30 м; переходную кривую длиной 50 м; правую кривую радиусом 150 м и длиной 400 м; левую кривую радиусом 200 м и длиной 300 м. Исходный профиль бандажа ГОСТ 11018-2011 (рис. 5) начальный прокат и износ гребня отсутствовали [10, 11].

Исследование эволюции конфигурации профиля бандажей колесных пар локомотива проводилось на основе модели износа ВНИИЖТ-1, встроенной в программный комплекс «Универсальный механизм» [12]. Данная модель [13] основывается на гипотезе о зависимости объемного износа материала колесных пар от работы сил крипа

$$I = k_I \cdot \xi^2 \cdot p,$$

где k_I – коэффициент износа, зависящий от материала поверхности.

В результате моделирования первой ситуации, когда отсутствовала обработка гребней бандажей триботехническим составом, была получена картина эволюции профиля, представленная на рис. 2. Полный пробег модели промышленного электровоза ПЭ2^{М} составил 5049 км.

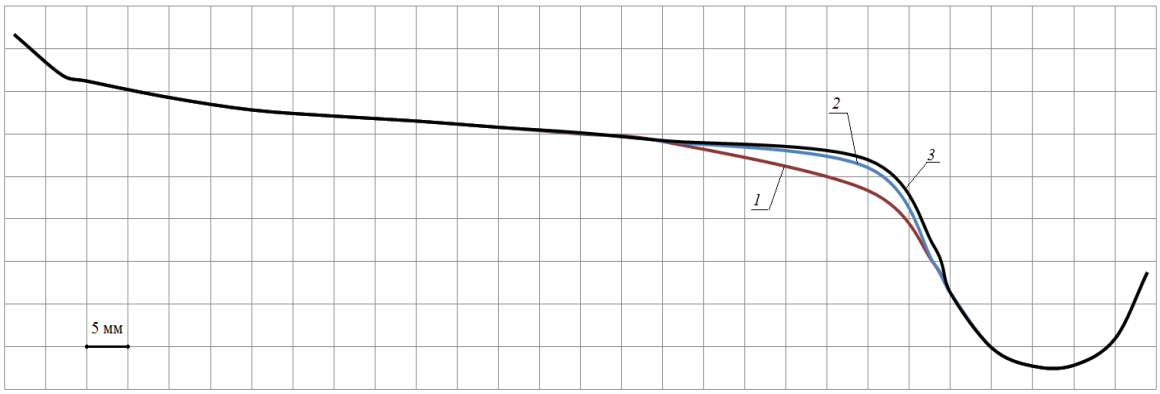


Рис. 2. Эволюция профиля бандажа без обработки гребней ТС НАП
1 – исходный профиль; *2* и *3* – пробег, соответственно, 3 и 5,05 тыс. км

При анализе картины износа заметно, что, несмотря на увеличение интенсивности износа, с ростом пробега уменьшается толщина гребня бандажа электровоза. Это можно объяснить несколькими причинами: явлением приработки поверхностей (за исходный был взят неизношенный профиль), постепенным увеличением площади поверхности, на которой происходит изнашивание [14, 15].

При моделировании второй ситуации, когда гребни колесных пар подвергались обработке триботехническим составом НАП, также были получены профили, которые представлены на рис. 3. Полный пробег электровоза в данном случае составил 9855 км.

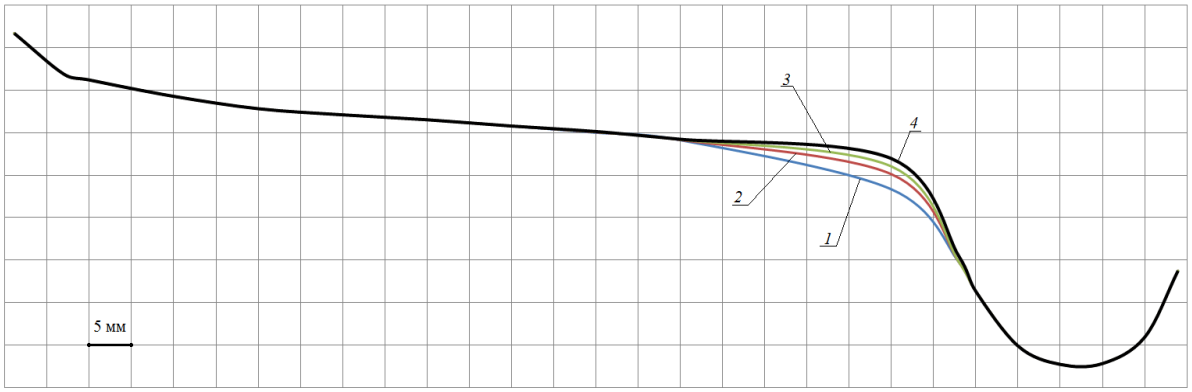


Рис. 3. Эволюция профиля бандажа после обработки ТС НАП
1 – исходный профиль; *2, 3* и *4* – пробег, соответственно, 3, 6 и 9,8 тыс. км

Величина ресурса бандажа колесной пары до обточки, лимитируемой по минимальной толщине гребня, после обработки гребней триботехническим составом НАП увеличилась 1,9 раза, и составляет 9855 км. При среднемесячном пробеге электровоза 1350 км наработка бандажа составляет 7,3 месяца. Полученный результат подтверждается данными экспериментальных исследований [16, 17] (расхождение не более 10 %).

Список литературы

1. *Буйносов А.П., Пышный И.М.* Выбор профиля бандажей колесных пар тепловозов, исходя из критерия максимального ресурса колесных пар до обточки // Тяжелое машиностроение. 2011. № 4. С. 5-11.
2. *Буйносов А.П., Пышный И.М.* Ресурс бандажей колесных пар продлевает упрочнение // Технология машиностроения. 2012. № 6. С. 44-46.
3. *Буйносов А.П., Пышный И.М.* Разработан бортовой локомотивный гребнесмазыватель «твердого» типа // Научно-технический вестник Поволжья. 2011. № 3. С. 92-96.
4. *Буйносов А.П., Пышный И.М.* Результаты применения нанопористового антифрикционного покрытия на повышение ресурса колесных пар промышленных электровозов // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 6. С. 155-158.
5. *Буйносов А.П., Тихонов В.А.* Разработка математической модели механической части электровоза ВЛ11К // Технологическое обеспечение ремонта и повышение динамических качеств железнодорожного подвижного состава: Матер. науч.-техн. конф. с междун. уч. - Омск: ОмГУПС, 2011. С. 33-38.
6. *Буйносов А.П., Тихонов В.А.* Наноматериал увеличит срок службы бандажей колесных пар // Научное обозрение. 2011. № 5. С. 266-274.
7. *Буйносов А.П.* Применение триботехнического состава для повышения ресурса бандажей до обточки колесных пар электроподвижного состава // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 4. С. 49-53.
8. *Буйносов А.П., Пышный И.М.* Продление ресурса бандажей колесных пар // Технология машиностроения. 2012. № 6. С. 44-46.
9. *Буйносов А.П., Стаценко К.А., Тихонов В.А.* Влияние применения триботехнического состава НИОД на ресурс колесных пар электроподвижного состава // Вестник транспорта Поволжья. 2011. № 1. С. 30а-35.
10. *Буйносов А.П., Пышный И.М.*Определение допустимой разности диаметров бандажей с учетом затрат на ремонт колесных пар электровозов // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 2. С. 122-126.
11. *Буйносов А.П., Худояров Д.Л., Пышный И.М.* Выбор профиля поверхности катания бандажей колесных пар промышленных тепловозов // Транспорт Урала. 2011. № 1. С. 64-69.
12. *Погорелов Д.Ю.* Универсальный механизм. Руководство пользователя [Электронный ресурс]. Брянск, 2009. Режим доступа: http://www.umlab.ru/download_rus.htm (дата обращения: 10.02.2013).
13. *Буйносов А.П., Пышный И.М., Тихонов В.А.* Модель эксплуатационного износа сложной технической модели // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2013. № 1. С. 52-57.
14. *Буйносов А.П., Пышный И.М., Тихонов В.А.* Методика определения ресурса бандажей колесных пар локомотивов // Транспорт Урала. 2012. № 3. С. 98-102.
15. *Буйносов А.П., Пышный И.М.* Увеличение срока службы бандажей колесных пар промышленных тепловозов // Омский научный вестник. 2011. № 103. С.152-156.
16. *Буйносов А.П., Пышный И.М.* Определение полного и остаточного ресурса бандажей колесных пар локомотивов на промышленном железнодорожном транспорте // Тяжелое машиностроение. 2013. № 1. С. 27-31.
17. *Буйносов А.П., Пышный И.М., Тихонов В.А.* Ремонт локомотивов без прекращения их эксплуатации // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2012. № 1. С. 85-90.

05.22.07

А.П. Буйносов д.т.н., Н.Г. Фетисова

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

ВЛИЯНИЕ МАТЕРИАЛА НА ИЗНОС БАНДАЖЕЙ КОЛЕСНЫХ ПАР ЭЛЕКТРОВОЗОВ И РЕЛЬСОВ

В статье выполнен анализ важнейшей характеристики материала бандажей колесных пар электровозов и рельсов – соотношение значений их твердости, приводятся результаты экспериментальных исследований износа пары «бандаж–рельс» при переходе на новый тип рельсов (Р65).

Ключевые слова: *электровоз, колесная пара, бандаж, рельс, износ, материал, твердость, влияние.*

Износ бандажей колесных пар электровозов и рельсов влияет на срок их службы и тем самым на эксплуатационные расходы, экономические показатели железнодорожного транспорта [1].

На эту тему было написано не один десяток статей (в том числе и авторами) [2], однако вопрос остается открытым. Для того чтобы бандажи колесных пар электровозов не разрушались под действием ударно-переменной нагрузки, их материал должен быть вязким [3]. Но так как давление бандажей на рельсы передается по небольшим площадкам, необходимо, чтобы материал пары «бандаж–рельс» обладал достаточным сопротивлением смятию, износу, контактно-усталостным повреждениям, то есть был твердым, но не хрупким [4].

Конструкция и размеры бандажей колесных пар электровозов должны соответствовать ГОСТ 31373–2008 и ГОСТ 11018–2011. Бандажи изготавливают из углеродистой стали, выплавляемой в мартеновских, электрических печах или конвертерным способом, двух марок: сталь марки 2 – для пассажирских, грузовых, маневровых локомотивов и сталь марки 4 – для грузовых и маневровых локомотивов. Согласно Р 51685–2000 термоупрочненные рельсы (Р65 и Р75) имеют твердость равную 350–400 НВ, тогда как бандажи колесных пар локомотивов марок 2 и 4 имеют согласно ГОСТ 398–2000 твердость (на глубине 20 мм) 269 и 320–360 НВ, соответственно, на гребне – 321 и 380 НВ, соответственно.

Объемно-закаленные рельсы повышенной массы начали выпускать с целью снижения контактно-усталостных повреждений. Однако нужных результатов не добились. Так, для рельсов Р50 доля контактно-усталостных повреждений составила 40 %, а для Р65 – 50 %, Р75 – 70 %. Кроме того, площадка контакта бандажа с рельсом смещается в зону рабочей выкружки рельсов, при этом образуется наклепанный слой толщиной 5–10 мм [5]. Такому явлению способствовали требования ГОСТ 8161–85 относительно нового профиля головки рельса с увеличенным до 15 мм радиусом выкружки, что привело к принудительному двухточечному контакту бандажа и рельса в стадии их приработки. В результате почти все бандажи стали взаимодействовать с рельсами по двухточечной схеме, отчего интенсивнее стали изнашиваться и гребни, и рельсы [6].

Применение рельсов из высокопрочных сталей требует, следовательно, применение таких же по прочности и твердости материалов бандажей. Оптимальное соотношение твердости бандажей колесной пары электровозов и рельсов в России минимальное (0,7–0,8), в США и Канаде равно 1, а в странах Европы – максимальное (1,1).

При исследовании на машинах трения МИ-1 и МИ-3 Лариным Т.В. с использованием образцов из рельсовой и колесной сталей [7] было замечено, что минимальный износ

бандажей и рельсов получается при соотношении твердости бандажа и рельсов в пределах $H_Б/H_Р$ = 1–1,05 [8].

В эксплуатации до введения новых типов рельсов (Р65) были примерно одинаковые твердости как рельсов, так и бандажей, поэтому в соответствии с исследованиями Ларина Т.В. наблюдалось примерное равенство износа рельсов и бандажей по объему металла на единицу выполненной работы [9].

В настоящее время твердость рельсов составляет 400–450 НВ, а твердость бандажей колесных пар электровозов – 275–315 НВ, а это значит, что при переходе на «новый» тип рельсов с повышенной твердостью (объемно-закаленные) должен увеличиться как износ бандажей, так и рельсов [10].

Для оценки влияния типа рельсов (Р50 и Р65) проведен анализ изнашивания бандажей колесных пар электровозов ВЛ11. Замер износа рельсов типа Р50 производился на участке Пермь-II – Балмошная, в ремонтном локомотивном депо Пермь замеряли бандажи колесных пар, приписанных к нему электровозов ВЛ11. Замер износа рельсов Р65 производился на участке Дружинино–Кузино, а износ бандажей колесных пар замеряли, приписанных к ремонтному локомотивному депо Свердловск электровозов ВЛ11 [11].

Ресурс по вертикальному износу рельсов в связи с переходом с рельсов типа Р50 на Р65 увеличился незначительно – с 238 до 267 мес., то есть на 12 % (рисунок); 90%-ный ресурс [12] до смены рельсов по приведенному износу уменьшился в 2,1 раза (с 141 до 67 мес.) при переходе на новый тип рельсов. Построенные функции распределения ресурса [13] и рассчитанный 90%-ный ресурс составляют для электровозов серии ВЛ11 до обточки по предельному прокату 23 и 26,6 мес., по минимальной толщине гребня – 34 и 8,7 мес., по предельной толщине бандажа (ресурс до списания) 94 и 66,8 мес.

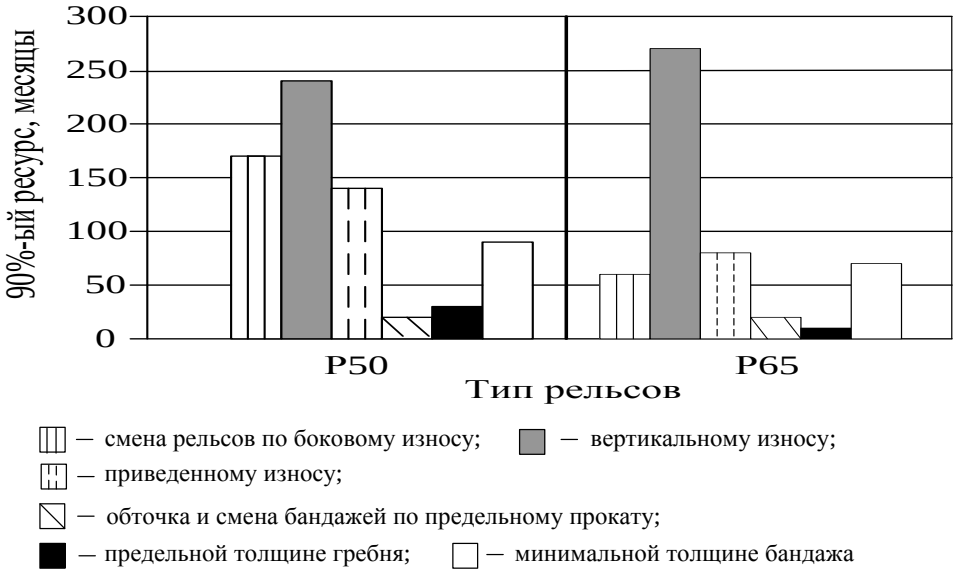


Рис. Ресурс до обточки и смены рельсов и бандажей колесных пар электровозов ВЛ11 при переходе на новый тип рельсов (Р65)

Из анализа полученных результатов вытекает, что переход на новый тип рельсов (с Р50 на Р65) увеличил износ рельсов более чем в 2 раза, причем лимитирует боковой износ. У бандажей колесных пар электровозов ВЛ11 раньше при использовании рельсов Р50 лимитировал прокат (ресурс 23 мес.), то теперь (при рельсах Р65) лимитирует износ гребня (ресурс 8,7 мес.), что уменьшило ресурс бандажей колесных пар до обточки более чем в два раза. Рассчитанный 90%-ный ресурс составляет для рельсов по боковому износу 174 мес. (Р50) и 61,3 (Р65) мес., то есть уменьшился в 2,8 раза [14].

Необходимо довести твердость бандажей колесных пар электровозов до твердости рельсов, учитывая при этом осевые нагрузки и применяемые режимы торможения. Ранее поднять твердость бандажей до твердости рельсов невозможно было сделать, из-за отсутствия резцов и фрез, позволяющих произвести механическую обработку «твердых»

бандажей, тогда как в настоящее время эта проблема снята [15]. Необходимо уже сегодня вернуться к этому вопросу и начать выпуск более прочных бандажей.

Казалось бы, решение лежит на поверхности. Но путейцы теперь едва ли пойдут на понижение твердости рельсовой стали. Наоборот, в ближайшем будущем предусматривается ее дальнейшее повышение. А это значит, что износ колесных пар, если твердость колесной стали не повысится, будет увеличиваться [16]. На сегодняшний день одним из способов повышения твердости бандажей колесных пар является плазменное упрочнение гребней. Применение упрочнения бандажей, как утверждают отдельные специалисты [17], нарушает оптимальное соотношение твердости бандажей и рельсов и может способствовать увеличению износа рельсов. Но такие прогнозы необоснованны. Пробег бандажей колесных пар электровозов с упрочненными гребнями оказался в 2–3 раза больше, чем обычных [18].

Список литературы

1. *Буйносов А.П.* Износ бандажей необходимо снизить // Локомотив. 2004. № 10. С. 25–27.
2. *Буйносов А.П.* Оценка эффективности снижения износа бандажей колесных пар электровозов, обточенных по различным профилям // Транспорт: наука, техника, управление. 2010. № 12. С. 40-42.
3. *Буйносов А.П., Козаков Д.Ю.* Анализ процессов эксплуатационного износа гребней бандажей колесных пар электровозов // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 3. С. 79-84.
4. *Буйносов А.П.* Твердость колеса и рельса, их износ // Локомотив. 1996. № 3. С. 31–32.
5. *Буйносов А.П., Худояров Д.Л.* Повышение ресурса бандажей колесных пар электровозов ВЛ11 // Железнодорожный транспорт. 2010. № 9. С. 51-53.
6. *Буйносов А.П.* Основные причины интенсивного износа бандажей колесных пар подвижного состава и методы их устранения. Екатеринбург: УрГУПС, 2009. 224 с.
7. *Буйносов А.П.* Методы повышения ресурса бандажей колесных пар тягового подвижного состава: Дисс. на соискание уч. ст. докт. техн. наук. – Екатеринбург, 2011. 455 с.
8. *Буйносов А.П., Наговицын В.С.* Как повысить надежность бандажей // Локомотив. 1999. № 7. С. 36-38.
9. *Горский А.В., Буйносов А.П., Наговицын В.С., Клинский В.С.* Экономичная обточка // Локомотив. 1992. № 4. С. 26-27.
10. *Буйносов А.П.* Выбор профиля бандажей колесных пар электровозов ВЛ11 // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. 2012. № 1. С. 169-173.
11. *Буйносов А.П.* Методика оценки ресурса бандажей колесных пар тягового подвижного состава // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 2. С. 116-121.
12. *Буйносов А.П.* Методика определения ресурса бандажей колесных пар электровозов // Транспорт: наука, техника, управление. 2013. № 2. С. 37-39.
13. *Буйносов А.П.* Математическая модель повышения долговечности бандажей колесных пар тягового подвижного состава // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2012. Т. 68. № 9. С. 121-128.
14. *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.
15. *Буйносов А.П., Пышный И.М., Тихонов В.А.* Модель эксплуатационного износа сложной технической системы // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2013. № 1. С. 52-57.
16. *Буйносов А.П.* Применение триботехнического состава для повышения ресурса бандажей до обточки колесных пар электроподвижного состава // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 4. С. 49-53.
17. *Буйносов А.П., Пышный И.М.* Ресурс бандажей колесных пар продлевает упрочнение // Технология машиностроения. 2012. № 6. С. 44-46.
18. *Буйносов А.П., Тихонов В.А.* Наноматериал увеличит срок службы бандажей колесных пар // Научное обозрение. 2011. № 5. С. 266-274.

05.14.03

А.В. Варенцов, С.М. Дмитриев, А.А. Добров, Д.Н. Солнцев, А.Е. Хробостов

Нижегородский государственный технический университет имени Р.Е. Алексеева,
Институт ядерной энергетики и технической физики,
кафедра Атомные, тепловые станции и медицинская инженерия,
Нижний Новгород, vav88@mail.ru

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ И РАСЧЕТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГИДРОДИНАМИКИ И МАССООБМЕНА ПОТОКА ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В МОДЕЛИ ТВС РЕАКТОРА КЛТ-40С

В работе представлены результаты и анализ экспериментальных и расчетных данных по исследованию локальных гидродинамических характеристик и межканального массообмена потока теплоносителя в модели ТВС реакторной установки плавучей атомной электростанции.

Ключевые слова: *ядерный реактор, тепловыделяющая сборка, гидродинамика и массообмен теплоносителя, дистанционирующая решетка.*

В настоящее время особое внимание уделяется атомным станциям малой мощности. В данном классе станций важное место занимает плавучая атомная теплоэлектростанция (ПАТЭС). Такой плавучий энергоблок предназначен для надежного электро- и теплоснабжения региональных потребителей в удаленных районах, не имеющих централизованного энергоснабжения, с дорогим дальнепривозным топливом.

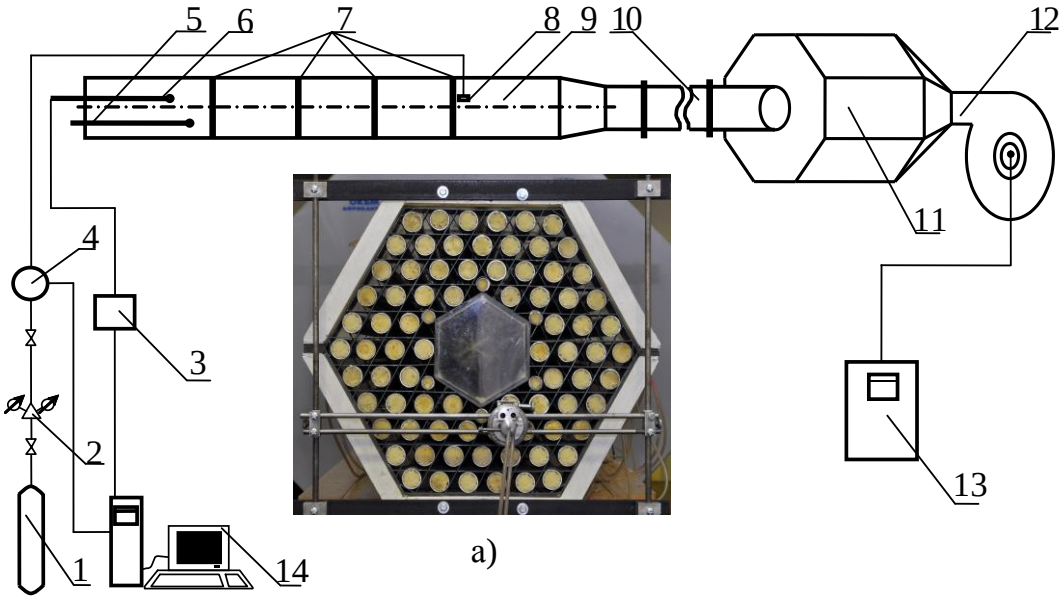
На базе опыта создания и совершенствования судовых реакторов в ОАО «ОКБМ Африкантов» для плавучей атомной теплоэлектростанции была разработана реакторная установка малой мощности КЛТ-40С. Одной из особенностей реактора КЛТ-40С является кассетная активная зона, состоящая из чехловых тепловыделяющих сборок.

Разработанная в ОКБМ тепловыделяющая сборка (ТВС) для активных зон реактора КЛТ-40С должна отвечать всем требованиям к современному ядерному топливу, а именно: надежности, безопасности, экономичности и технологичности. Следовательно, для создания проекта реакторной установи КЛТ-40С необходимо обосновать теплотехническую надежность активной зоны.

Обоснование теплотехнической надежности активной зоны ядерного реактора, во многом базируется на теплогидравлическом расчете, с использованием программ, моделирующих процессы в активных зонах ядерных реакторов. Однако большинство таких программ имеют в своей основе математическую модель, включающую в себя коэффициенты, полученные эмпирическим путем. Поэтому основным методом изучения гидродинамики и межканального массообмена сборок твэлов и активных зон реакторов остаются экспериментальные исследования.

Экспериментальный стенд

Исследования локальных характеристик гидродинамики и межъячеечного массообмена потока теплоносителя проводились на аэродинамическом стенде (рис.1) методом диффузии примесей. Принцип проведения экспериментальных исследований заключался в том, что поток воздуха посредством радиального вентилятора высокого давления поступал в ресиверную емкость, двигался через расходомерное устройство и успокоительный участок, затем, пройдя через экспериментальную модель (ЭМ), выбрасывался в атмосферу. Трассер же подавался через впускной зонд в ячейку пучка твэлов в начале исследуемого участка, после чего отборным зондом за исследуемым поясом дистанционирующей решетки (ДР) производился отбор газовоздушной смеси для анализа распределения концентрации трассера по длине и поперечному сечению ЭМ.



1 – газовый баллон, 2 – редуктор, 3 – модульный газоанализатор, 4 – регулятор расхода газа, 5 - пятиканальный пневмометрический зонд, 6 – отборный зонд, 7 – статические отборы, 8 – устройство ввода трассера в ячейку ЭМ, 9 – экспериментальная модель, 10 – успокоительный участок, 11 – буферная емкость, 12 – вентилятор высокого давления, 13 – преобразователь частоты, 14 – ЭВМ, а – выходное сечение экспериментальной модели ТВС реактора КЛТ-40С

Рис. 1– Схема экспериментального стенда

Экспериментальная модель, входящая в состав стенда представляет собой масштабную модель ТВС реактора КЛТ-40С, выполненную в полном подобии натурной ТВС с коэффициентом геометрического подобия $К_Г$=5,9. Имеет длину 3 м и состоит из шестигранного чехла, семидесяти восьми цилиндрических твэлов-имитаторов, шести цилиндрических СВП-имитаторов, трех поясов дистанционирующих решеток.

Измерительный комплекс

В состав измерительного комплекса входят: газоанализатор АДК-03Р, регулятор расхода газа EL-FLOW, отборный зонд, выполненный в виде трубки Пито-Прандтля и одновременно выполняющий функцию транспортного газопровода в газоанализатор, ПЭВМ с соответствующим программным обеспечением.

Для измерения концентрации углеводородов CnHm в газо-воздушной смеси использовался газоанализатор АДК-03Р, принцип работы которого основан на измерении величины поглощения инфракрасного излучения в области длины волны 3,4 мкм. Диапазон измеряемых концентраций: 0...10000 ppm, погрешность измерения при этом с учетом индивидуальной градуировки равна ±5 ppm (0…1000 ppm); ± 1,5% (1000...10000 ppm). Величина 10000 ppm соответствует 1 объемному проценту газа трассера в газо-воздушной смеси.

Для поддержания заданного расхода газа использовался массовый расходомер EL–FLOW, который позволяет измерять и регулировать потоки газов в диапазонах от 0 до 5 л/мин. Погрешность при этом составляет не более 0,5%.

Представительность получаемых экспериментальных данных.

Важным этапом проведения любого экспериментального исследования является подтверждение его представительности. Поскольку течение воды высокого давления в ЭМ моделируется в наших экспериментах воздухом, то перенос полученных результатов на натурную сборку возможен на основе теория гидродинамического подобия. Т.к. все

исследования проводились в области автомодельности, где профиль относительной скорости $\left(\frac{W_{лок}}{\overline{W}}\right)$ остается практически неизменным.

С этой целью был проведен ряд испытаний, направленных на определение режимов течения теплоносителя в экспериментальной модели, определение участков гидродинамической стабилизации потока и нахождение границ зон автомодельного течения теплоносителя.

В процессе работы экспериментального стенда на установившемся режиме течения замерялись перепады статического давления по длине модели, и для каждого из участков проводилось их сравнение. Стабилизированным считалось течение с постоянной величиной градиента статического давления.

В диапазоне чисел Re=50000-90000, что соответствует зоне автомодельности, коэффициент гидравлического сопротивления ДР составляет $\xi_{ДР}$ = 0,29. Данное значение соответствует коэффициенту гидравлического сопротивления натурной решетки

Кроме того, была проведена апробация методик проведения экспериментальных исследований для подтверждения достоверности получаемых результатов, определены погрешности измеряемых величин. Оценка погрешности измерения аксиальной составляющей скорости и концентрации проводилась на основе сравнения балансов расхода трассера и основного потока. Погрешности измеряемых величин не превышали 5%.

Методика проводимых исследований

Метод трассера основан на регистрации поперечного потока массы по некоторой переносимой субстанции (краски, соли, газа и т.д.) [1]. В качестве трассера использовался газ пропан, поскольку он обладает наиболее близкими к воздуху свойствами, возможностью быстрой и достаточно точной регистрации, что позволяет получать большие объемы данных в ограниченное время. Методика проведения экспериментальных исследований локального массообмена на экспериментальном стенде заключалась в следующем:

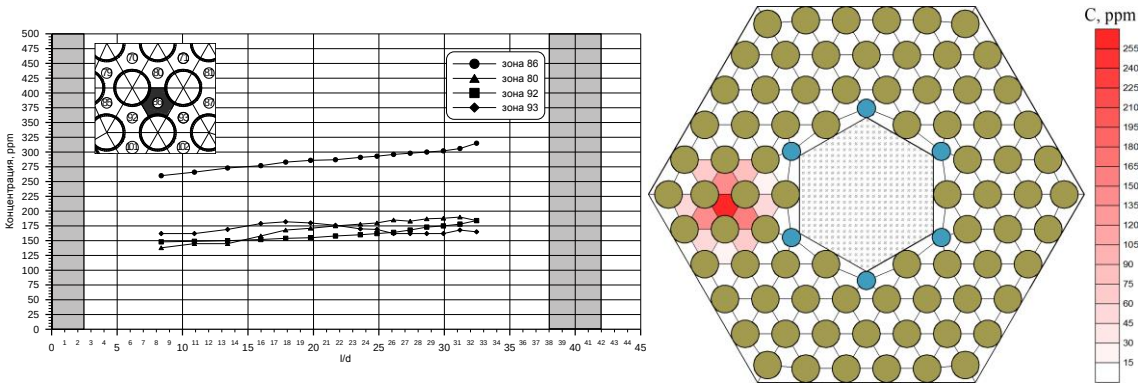
– поперечное сечение экспериментальной модели было разбито на ячейки, каждой из которых был присвоен свой индивидуальный порядковый номер;

– газовый трассер через впускной зонд подавался в стандартную ячейку ЭМ до пояса перемешивающей решетки по ходу течения потока теплоносителя. Далее с помощью отборного зонда производился замер концентрации трассера газоанализатором по центрам всех ячеек за поясом ДР в характерных сечениях по длине ЭМ;

– по полученным данным строились графики и картограммы зависимости распределения концентрации трассера от относительной координаты для характерных зон поперечного сечения ЭМ.

Результаты проводимых исследований

На основе полученных данных были построены графики и картограммы, позволяющие визуально оценить распределение трассера в поперечном сечении экспериментальной модели (рис.2).



а) б)

а) - Распределение концентрации трассера по длине экспериментальной модели за поясом дистанционирующей решетки.

(86 – ячейка инжекции, 80,92,93 – прилежащие ячейки к зоне инжекции)

б) - Распределение концентрации трассера в выходном сечении экспериментальной модели ТВС реактора КЛТ-40С

Рис. 2- Результаты исследования распределения концентрации трассера

Рассмотрев, как изменяется значения концентрации трассера в зоне инжекции и в соседних ячейках (рис.2а), можно отметить, что посредством механизма турбулентного переноса, часть потока теплоносителя из каждой ячейки переходит в соседние ячейки.

Следует отметить, что дистанционирующие решетки, состоящие из пластин, не приводят к интенсивному перемешиванию потока теплоносителя, т.к. распространение пропанового трассера в поперечном сечении ЭМ за дистанционирующей решеткой охватывает не более 11-ти ячеек вокруг точки инжекции (рис. 2б). Это свидетельствует о низкой перемешивающей способности данной дистанционирующей решетки. С другой стороны, такая пластинчатая решетка имеет «невысокое» гидравлическое сопротивление [2].

Результаты расчетных исследований массообмена потока теплоносителя на экспериментальной модели ТВС реактора КЛТ-40С

Для анализа экспериментальных данных была разработана математическая модель распределения трассера, которая позволяет оценить значения коэффициента межканального обмена и тем самым количественно охарактеризовать перемешивающие свойства дистанционирующей решетки модели ТВС реактора КЛТ-40С.

ЭМ условно разбивалась по длине на слои, ее поперечное сечение разбивается на плоские элементарные ячейки. В результате можно представить себе каждый слой состоящим из объемных элементов, в основании которых находится плоская элементарная ячейка. При этом часть боковой поверхности элементов ограничена поверхностью имитаторов твэлов или стенками экспериментальной модели, а часть – совпадает с боковыми поверхностями соседних ячеек (элементов). Общие боковые поверхности элементов представляют собой плоские прямоугольные области.

Каждый элемент характеризуется определенным набором геометрических параметров: формой и площадью ячейки, находящейся в его основании, площадью его боковых поверхностей, граничащих с соседними элементами. Также каждый элемент характеризуется типом соседних элементов, граничащих с ним.

Объемные элементы можно разделить на семь типов по виду ячеек (I-VII), лежащих в их основании (рис.3).

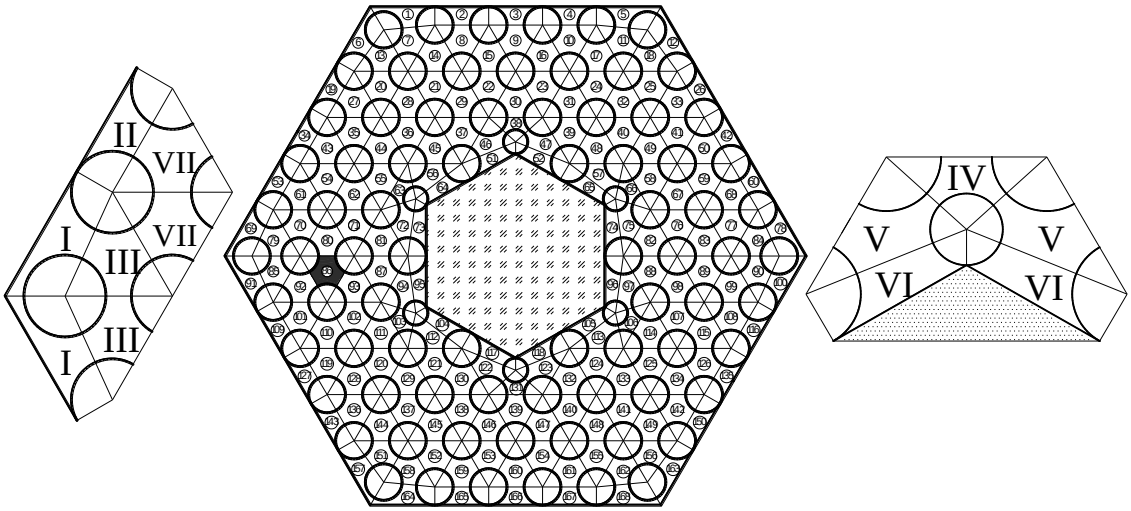


Рис. 3– Типы ячеек экспериментальной модели

При движении теплоносителя по ЭМ осуществляется как осевой, так и поперечный обмен массой между соседними элементами модели. Для определения поперечного обмена массой вводим коэффициент межканального обмена μ, $м^{-1}$ как отношение поперечного потока массы на единицу длины канала к полному осевому потоку теплоносителя через ячейку G_i :

$$\mu = \frac{G_{ij}}{G_i}, \qquad (1)$$

где G_{ij} - поперечный поток массы на единицу длины канала, G_i - полный осевой поток теплоносителя через ячейку.

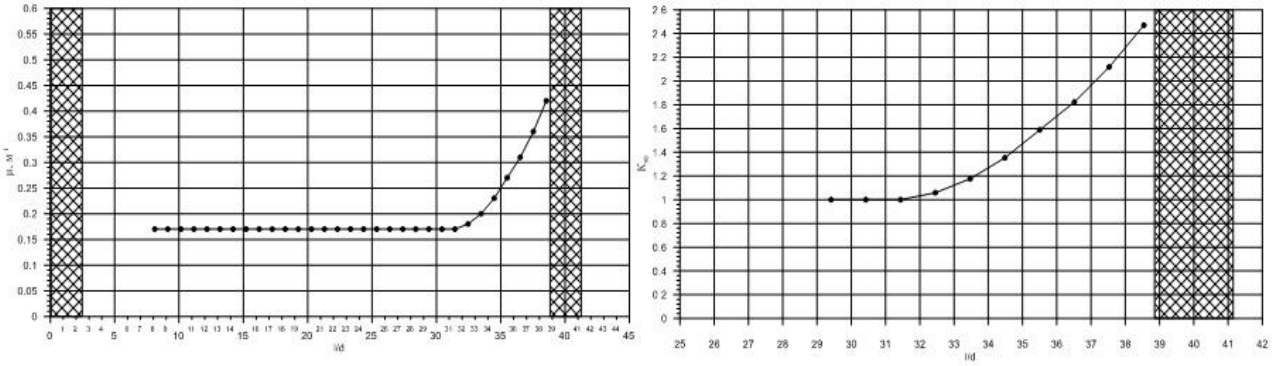
Для нахождения распределения трассера по сечению и длине экспериментальной модели необходимо составить систему уравнений баланса массы трассера, переносимой потоком в осевом и поперечном направлениях. Для решения системы требуется задание значений концентраций трассера в первом слое.

Методом подбора определялись такие значения μ для каждого слоя, при которых значения концентрации трассера в ячейках при расчете были максимально близки к результатам эксперимента.

Для оценки эффективности ДР введем понятие эффективного коэффициента межканального обмена $\mu_{эф}$.

$$\mu_{эф}=К_{эф}\cdot\mu_{гл}, \qquad (2)$$

где $К_{эф}$ – коэффициент, учитывающий влияние ДР на перемешивание теплоносителя, $\mu_{гл}$- коэффициент межканального обмена в «гладком» пучке твэлов.



а) б)

а) - Распределение значений коэффициента межканального обмена для ЭМ,
б) - распределение по длине ЭМ коэффициента $К_{эф}$

Рис. 4– Результаты расчетных исследований влияния ДР на перемешивание теплоносителя.

Анализ распределения коэффициента межканального обмена по длине ЭМ показал, что начиная с расстояния $l/d = 7$ за решеткой значение коэффициента выходит на постоянный уровень. Это значение характеризует межканальный обмен массой в «гладком» пучке ЭМ.

Таким образом, максимальное значение коэффициента $К_{эф}$ составило 2,47, а длина затухания массообменных процессов, вызванных влиянием решетки, составляет $\Delta l/d$ =6-7.

Выводы

По результатам экспериментальных и расчетных исследований гидродинамики и массообмена в ЭМ за ДР были выявлены основные общие закономерности массообмена и движения потока теплоносителя за поясом ДР:

2. Посредством механизма турбулентного переноса, часть поперечного потока теплоносителя из каждой ячейки переходит в соседние ячейки, смешиваясь при этом с основным осевым потоком.

3. Применение дистанционирующих решеток, состоящих из пластин, не приводит к интенсивному перемешиванию потока теплоносителя. Это обусловлено меньшей перемешивающей способностью пластинчатой дистанционирующей решетки, а также тем, что ТВС реактора КЛТ-40С имеет раздвинутый пучок твэлов. С другой стороны, такая пластинчатая решетка имеет «невысокое» гидравлическое сопротивление.

4. Наибольшее значение (максимум) эффективного коэффициента межканального массообмена для ДР наблюдается за решеткой на расстоянии l/d = 38,5 и соответствует значению μ=0,42 $м^{-1}$, при этом область затухания возмущений массообменных характеристик за ДР составляет $\Delta l/d$ = 7÷8.

5. Полученные результаты используются для расчета эффективности дистанционирующих решеток в разрабатываемых прикладных программах и являются базой данных при расчетах теплотехнической надежности активных зон реактора КЛТ-40С.

Обобщена экспериментальная информация и создан банк данных для верификации CFD-кодов и программ детального поячеечного расчета активных зон с ТВС для реактора КЛТ-40С с целью уменьшения консерватизма в расчетах теплотехнической надежности активных зон.

Работа выполнена при поддержке Совета по Грантам Президента РФ, грант №МК-3172.2011.8 и гранта Нижегородской области в сфере науки, технологий и техники.

Список литературы

1. *Балыбердин А.С., Бородин С.С., Дмитриев С.М. и др.* Особенности гидродинамики и массообмена теплоносителя в ТВСА-АЛЬФА реактора ВВЭР. Известия высших учебных заведений. Ядерная энергетика. г. Обнинск, 2010, №1 С. 42-48.

2. *Варенцов А.В., Доронков Д.В., Купричева Е.С. и др.* Экспериментальные исследования локального массообмена и эффектиности перемешивания теплоносителя дистанционирующими решетками в ТВС реактора КЛТ-40С. Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева №1, 2012г., С. 107-113

05.23.03

В.Г. Гагарин, В.В. Козлов, К.И. Лушин, П.П. Пастушков

ФГБОУ ВПО «Московский государственный строительный университет»,
Научно-исследовательский институт строительной физики
Российской академии архитектуры и строительных наук,
Москва, gagarinvg@yandex.ru, kirilllushin@gmail.com, pavel-one@mail.ru

К ВОПРОСУ О ПРИМЕНЕНИИ ВЕТРОГИДРОЗАЩИТНЫХ МЕМБРАН В НАВЕСНЫХ ФАСАДНЫХ СИСТЕМАХ С ВЕНТИЛИРУЕМОЙ ВОЗДУШНОЙ ПРОСЛОЙКОЙ

Проанализированы варианты устройства навесных фасадных систем (НФС) без применения ветрозощитных мембран. Предложены альтернативные способы достижения положительного эффекта применения волокнистого утеплителя в подобных конструкциях.

Ключевые слова: *навесные фасадные системы, вентилируемая воздушная прослойка, ветрогидрозащитная мембрана, эмиссия волокон из минеральной ваты, продольная фильтрация воздуха.*

Вопросы применения в навесных фасадных системах (НФС) ветрогидрозащитных мембран (пленок) уже рассматривались [1] и [2] , однако остаются дискуссионными в связи с недостаточным теоретическим обоснованием практических решений. Одной из основных причин применения пленок, считается необходимость предотвращения эмиссии волокон утеплителя [3], которая ведет к снижению теплозащиты ограждающих конструкций и ухудшает показатели санитарно-гигиенической опасности [4] и [5] объектов строительства.

Рассмотрение альтернативных способов достижения положительного эффекта без применения ветрозащитных пленок.

Действительно ли пленки выполняют все возложенные на них функции, и можно ли считать их применение в навесных фасадных системах достаточно обоснованным?

1. Эмиссия волокон.

В НИИСФ РААСН выполнены первые исследования эмиссии волокон для некоторых марок минеральной ваты [6]. Получено, что при малых скоростях обдува потоком воздуха для новых образцов минеральной ваты эмиссия волокон мала. В некоторых случаях эмиссия волокон при скоростях потока до 15 м/с получена равной нулю. Однако, по мере старения минеральной ваты, эмиссия волокон увеличивается. При движении воздуха вдоль поверхности минеральной ваты на приповерхностные волокна действует аэродинамическая сила, вызывающая напряжения растяжения в сечении волокна и касательные напряжения в капельках связующего, которое закрепляет волокно в материале. Эти напряжения пропорциональны средней силе аэродинамического воздействия. В случае, когда целостность связующего нарушена, остается сила сцепления волокон в материале. Сила сцепления волокон в материале пропорциональна упругой силе контакта переплетенных волокон в слое материала и коэффициентам трения (сухого и вязкого). Аэродинамическая сила содержит квазистационарную (среднюю) и пульсационную составляющие. Средняя составляющая аэродинамической силы пропорциональна некоторой степени средней скорости потока. Пульсационная составляющая – связана с хаотическими турбулентными пульсациями, которые всегда присутствуют в потоке воздуха около шероховатой поверхности. Вследствие нарастания усталостных явлений волокна могут отрываться и вылетать из воздушной прослойки. Это явление и получило название «эмиссия волокон». Для рассмотрения движения респираторной пыли в замкнутом объеме можно воспользоваться методикой [7].

2. Предотвращение фильтрации воздуха и сохранение теплозащитных свойств конструкции.

Поперечная фильтрация ограничивается требованием к воздухопроницаемости ограждающих конструкций СНиП 2-23-2003 «Тепловая защита зданий». В последние годы «забыли» об этих требованиях и соответствующую проверку ограждающих конструкций не производят. Воздухопроницаемость конструкции зависит от ее сопротивления воздухопроницанию. Согласно СНиП «Тепловая защита зданий» значение воздухопроницаемости наружной стены, в том числе и стены с вентилируемым фасадом, не должно превышать 0,5 кг/(м^2 час). Исходя из этого, должно рассчитываться требуемое сопротивление воздухопроницанию. Значения сопротивлений воздухопроницанию слоев, выполненных из различных материалов, приведены в СП 23-101 «Проектирование тепловой защиты зданий». Например, сопротивление воздухопроницанию слоя бетона толщиной 100 мм составляет почти 20000 (м^{2}ч Па)/кг, кирпичной кладки толщиной 1 кирпич и более – 18 (м^{2}ч Па)/кг, кладки из легкобетонных камней – 13 (м^{2}ч Па)/кг, минераловатных плит толщиной 15 мм – 2 (м^{2}ч Па)/кг, обшивки из сухой гипсовой штукатурки – 20 (м^{2}ч Па)/кг, штукатурки на основе цементно-песчаного раствора толщиной 15 мм – 373 (м^{2}ч Па)/кг. Значения сопротивлений воздухопроницанию современных волокнистых теплоизоляционных материалов и ветрозащитных пленок в данном СП отсутствуют.

Экспериментально определено сопротивление воздухопроницанию ветрозащитных мембран «Тайвек». Он составляет 10,5 (м^2 ч Па)/кг [1]. Если мы обратимся к упомянутой таблице СП, то можно увидеть, что по значению сопротивления воздухопроницанию, мембрана «Тайвек» сравнима с кладкой из пенобетонных блоков. С таким сопротивлением воздухопроницанию она не может обеспечить надежную защиту от поперечной фильтрации.

Иное дело продольная фильтрация, которая возникает при движении воздушного потока вдоль фасада. Если рассмотрим процесс обтекания здания при постоянном ветре, то увидим, что вдоль фасада возникает перепад давления. Перепад давления вызывает движение воздуха над облицовкой, под облицовкой и в самой минеральной вате. Но если скорость ветра у поверхности фасада измеряется десятками метров в секунду, то под облицовкой она составляет десятки сантиметров в секунду, а в минеральной вате скорость движения воздушных потоков не превышает нескольких сантиметров в минуту [8]. То есть, резко падает. Тем не менее, холодный воздух, который движется вдоль утеплителя, вызывает дополнительное охлаждение конструкции и снижает ее теплозащитные свойства.

Разработана методика и программа для компьютера, позволяющая производить расчет и определять влияние продольной фильтрации на теплозащитные свойства конструкции [9]. Согласно этой методике, на здании выбирается участок фасада, который является наиболее слабым в отношении теплозащиты и на этом участке проверяется влияние фильтрации. Если вклад, который вносит продольная фильтрация в теплопотери через этот участок фасада, незначительный, то можно обойтись без ветрозащиты. Если же продольная фильтрация существенно снижает теплозащиту, например на 30–40 %, то имеется альтернатива: или устанавливать ветрозащитную пленку или компенсировать дополнительные теплопотери увеличением толщины утеплителя. Если на выбранном участке фасада можно добиться необходимого снижения теплопотерь, то на остальных участках фасада это и подавно будет выполняться. Такова идея, положенная в основу данной методики. Она позволяет выбрать участки фасада, на которых следует устанавливать ветрозащиту и те участки, на которых можно обойтись без нее.

Таким образом, необходимые теплозащитные свойства конструкции возможно обеспечить не только путем устройства ветрозащиты, но и альтернативными способами. Следует отметить, что изложенная методика нуждается в обсуждении.

3. *Защита утеплителя от увлажнения атмосферными осадками.*

В НИИ механики МГУ проводили работу, в процессе которой выполнялись расчеты увлажнения утеплителя вентилируемого фасада косым дождем с учетом аэродинамики здания. Результаты, полученные при анализе вероятности проникания капель через зазоры

между облицовочными плитками, показали, что капли, стекающие по поверхности плиток, практически не имеют шансов попасть на утеплитель (т.е. пролететь через зазор, не коснувшись стенок). При обложном дожде их количество составляет 0,75% от общего числа капель, попавших на фасад, а при ливневом – 1,25%. Поэтому на утеплитель попадают в основном капли, приносимые с потоком воздуха и проникающие в зазор между плитками, не коснувшись стенок. В этом заключается отличие процесса увлажнения косым дождем традиционных стен, например панельных, и стен с вентилируемыми фасадами. При увлажнении косым дождем панельных стен вся вода, попавшая на стену, будет стекать по поверхности стены, проникая при этом в различные трещины (стыки и т.д.). При увлажнении косым дождем поверхности вентилируемого фасада, вода, попавшая на его поверхность, в основном будет стекать по облицовке. При этом, чем больше толщина воздушной прослойки и чем меньше зазор между облицовочными плитками, тем меньше влаги попадет на поверхность утеплителя [1].

4. Выводы.

Таким образом, конструктивными мероприятиями, без применения ветрозащитной пленки, возможно снизить или исключить риск увлажнения утеплителя вентилируемого фасада атмосферными осадками.

Вообще, все положительные последствия использования ветрозащитных пленок в вентилируемых фасадах, кроме эмиссии волокон, возможно обеспечить альтернативными путями при ограниченном использовании ветрозащитных пленок. При этом проектные решения необходимо обосновывать соответствующими теплофизическими расчетами.

Статья подготовлена по данным полученным в рамках выполнения ГК № 16.552.11.7064 от 13.07.2012 г.

Список литературы

1. *Гагарин В.Г., Козлов В.В.* Достоинства и недостатки применения ветрогидрозащитных пленок (мембран) в вентилируемых фасадах. // Стройпрофиль. 2008, №1, Стр. 84-88.

2. *Гагарин В.Г., Козлов В.В., Лушин К.И., Пастушков П.П.* О применении ветрогидрозащитных мембран в навесных фасадных системах с вентилируемой воздушной прослойкой. // Научно-технический вестник Поволжья. 2012, №5, Стр.128-131.

3. *Нелидов А.* Защита минваты. Ограничение факторов, разрушающих утеплитель. // Технологии строительства. 2007, №2, стр. 57-58.

4. «Факторы риска»: Причиной рака может стать даже минеральная вата. // Аргументы и факты, Северо-запад. 03 марта 2011.

5. World health organization. International agency for research on cancer. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Man-made Vitreous Fibres. Volume 81. 2002: Lyon, France.

6. *Гагарин В.Г., Гувернюк С.В.* Математическая модель эмиссии волокон при обдуве воздушным потоком минераловатных изделий и ее использование при прогнозировании долговечности утеплителя вентилируемого фасада. // РААСН, Вестник отделения строительных наук. №13. М.-Орел, 2009, стр. 135-142.

7. *Miao Wang, Chao-Hsin Lin, Qingyan Chen* Advanced turbulence models for predicting particle transport in enclosed environments. // Building and Environment. Volume 47, January 2012, pp. 40–49.

8. *Гувернюк С.В., Козлов В.В., Леденев П.В.* Численное моделирование продольной фильтрации воздуха в подоблицовочном слое навесной фасадной системы // Academia. Архитектура и строительство. 2010, № 3, стр. 341 – 343.

9. *Гагарин В.Г., Козлов В.В., Садчиков А.В., Мехнецов И.А.* Продольная фильтрация воздуха в современных ограждающих конструкциях. Метод оценки теплозащиты стены здания с вентилируемым фасадом с учетом продольной фильтрации воздуха. // Журнал АВОК. 2005, №8 стр. 60-70.

05.02.13

С.Н. Голышев, С.Н. Ермаков, С.Н. Семёнов

ООО НИП «Дельта-Т»,
Псков, delta-t.dma@mail.ru

ВЫКИДНОЙ ТРУБОПРОВОД С ТЕПЛОИЗОЛЯЦИЕЙ ДЛЯ ТРАНСПОРТИРОВКИ НЕФТЕПРОДУКТОВ

В статье предложено решение проблемы, связанной с транспортировкой нефти по выкидным трубопроводам на кусте при низких значениях температуры окружающей среды. Рассмотрены существующие конструкции выкидных трубопроводов и теплоизолирующие материалы, используемые в них.

Ключевые слова: *полимерно-армированная труба, выкидная линия, трубопровод, наконечник, теплоизоляция.*

Основным видом транспорта углеводородов в нашей стране, да и во всем мире является трубопроводный транспорт. В настоящее время трубопроводный парк нашей страны способен транспортировать 600 млн. тонн нефти и 800 млрд. м³ газа.

На сегодняшний день на территории России эксплуатируется более 350 тыс. км промысловых трубопроводов. Ежегодно в России на промыслах происходит до 70 тыс. аварий трубопроводного транспорта, 90%из которых являются следствием коррозионных повреждений. Из общего числа аварий на долю систем сбора углеводородов приходится около 55%. В настоящий момент 42 % новых стальных труб при эксплуатации на нефтепромыслах не выдерживают 5 лет эксплуатации, а 17 % эксплуатируются до начала порывов менее 2 лет. На ежегодную замену промысловых сетей расходуется более 8 тыс. км труб, что составляет около 400…500 тыс. тонн стали[1].

Стальная труба имеет как преимущества (высокие гидродинамические характеристики, отработанная технология сварки, высокая допустимая температура транспортируемой жидкости) так и ряд существенных недостатков (низкая коррозийная защита – труба вступает во взаимодействие с окружающей средой и транспортируемой жидкостью, что неэкологично; жёсткость трубы вызывает проблемы при транспортировке, конструктивные особенности при монтаже)[2].

Также проблемой при транспортировке нефти – это низкие температуры в осенне-зимний период. При охлаждении нефть становится более вязкой, а также велика вероятность выпадения парафинов, что заставляет применять теплоизоляцию на трубопроводах [3].

Стальные выкидные трубопроводы, выполняющие функцию сбора добытой нефти с куста скважин, совместно с монтажом теплоизоляционного слоя зарекомендовали себя как простое и надёжное средство для предотвращения замерзания трубопроводов в холодный период. Однако подобные технические решения обладают рядом серьёзных недостатков, из которых основными являются:

- монтаж системы осуществляется непосредственно на месте в несколько этапов (сварка стального трубопровода, монтаж теплоизоляционного слоя, монтаж внешней оболочки/кожуха);
- прокладка подобного трубопровода в грунт затруднено, ввиду плохой герметичности внешнего слоя трубы, как с точки зрения коррозийной защиты, так и гидроизоляции.

Одно из перспективных решений - это применение полимерных труб, лишенных недостатков стальных, обладая при этом рядом преимуществ:

- гидродинамическая пропускная способность полимерной трубы не ухудшается со временем (практически отсутствует «механическое зарастание» трубы из-за шероховатой поверхности);

- гибкость труб позволяет наматывать их на барабаны, что повышает их мобильность при транспортировке;
- полимеры не вступают в химические реакции с окружающей и транспортируемой средой, это обеспечивает отличную коррозийную защиту и высокую экологичность;
- применение армирования повышает гидродинамические характеристики трубопровода;
- низкая теплопроводность и шумность;
- применение теплоизолирующего слоя, позволяет транспортировать нефтепродукты на длительные расстояния;
- монтаж труб отрезками требуемой длины;
- в зависимости от условий эксплуатации возможно армирование внутренней трубки стальной лентой, проволокой, стеклоровингом и другими материалами;
- гарантийный срок службы 50 лет.

Применяя технологию армирования полимерной трубы-основы можно существенно улучшить эксплуатационные характеристики трубопроводов. Армировка производится высокопрочными материалами (стальная проволока и лента). Трубопроводы, изготовленные по такой технологии, имеют на порядок большие пределы по разрывному усилию, внутреннему давлению и обладают значительной устойчивостью к раздавливающим нагрузкам. Актуальнейшим вопросом при эксплуатации трубопроводов является улучшение его теплоизоляционных свойств. Подавляющая часть территории нашей страны находится в зоне умеренного и холодного климата. Поэтому вопрос сохранения температуры прокачиваемой жидкости очень важен. Одним из эффективнейших способов уменьшения коэффициента теплопередачи, является применение дополнительной промежуточной теплоизоляционной оболочки из вспененного полиэтилена [4].

В рамках выполнения государственного контракта №14.527.12.0026 на выполнение опытно-конструкторских работ по теме: «Разработка, организация производства номенклатурного ряда шлангокабелей, полимерных армированных трубопроводов, технических средств и технологий их использования в нефтяной и газовой промышленности» при финансовой поддержке Министерства науки и образования, была разработана конструкция выкидного трубопровода марки ТГ 63/95-10 (рис.1.) с возможностью дополнения конструкции теплоизоляционным слоем.

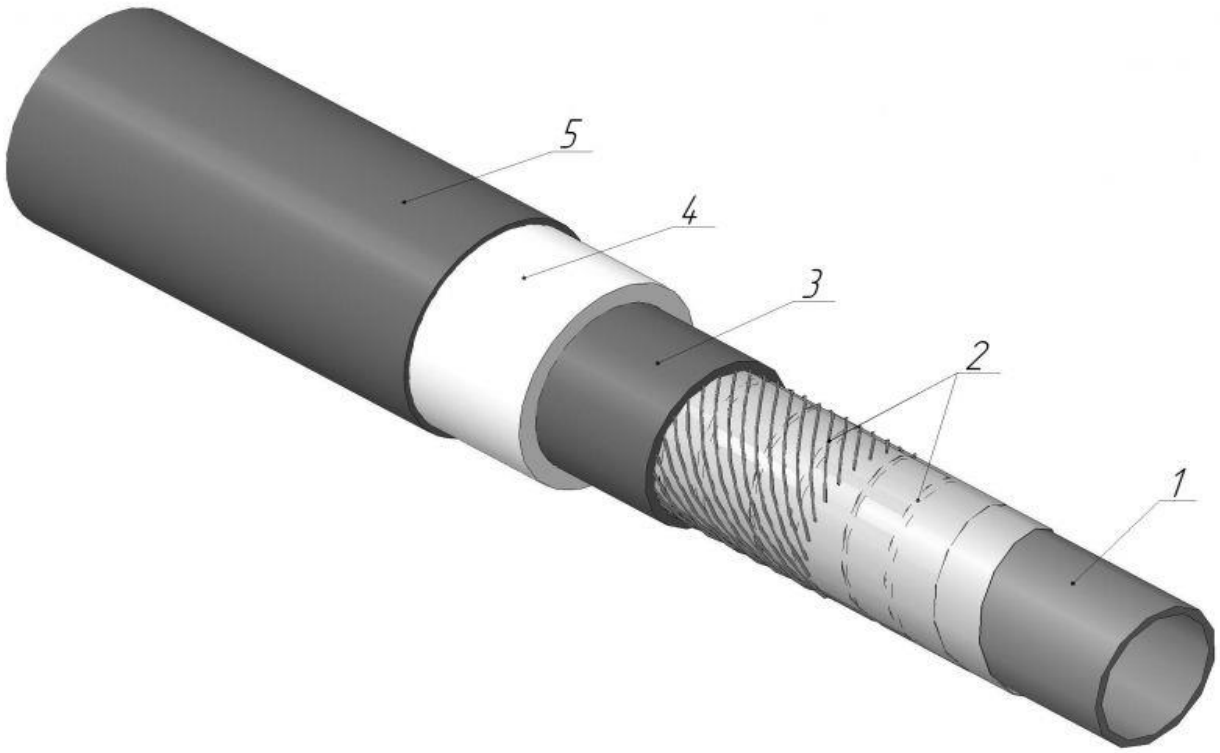


Рис.1. Конструкция выкидного трубопровода марки ТГ 63/95-10 с возможностью дополнения конструкции теплоизоляционным слоем.
1 – внутренняя полимерная труба; 2 – армирующие элементы;
3 – промежуточная полимерная оболочка; 4 – теплоизоляционный слой из вспененного полиэтилена; 5 – наружная полимерная оболочка.

Использование в качестве выкидного трубопровода полимерной армированной трубы с теплоизолирующим слоем позволяет получить принципиально новый продукт, лишённый недостатков стальных труб. Включение в такую трубу теплоизолирующего слоя и различных видов армирования открывает широкие возможности для применения этого трубопровода в различных отраслях промышленности, где требуется повышенная надёжность при транспортировке жидких и газообразных сред, поддерживая при этом их температуру на заданном уровне.

Список литературы

1. Транспорт скважинной продукции *Н.В. Чухарева, А.В. Рудаченко, А.Ф. Бархатов, Д.В. Федин* Томский политехнический университет. − Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011.
2. Промысловые трубопроводы и оборудование / *Ф.М. Мустафанов*. – М.: ОАО «Издательство «Недра», 2004.– 662 с.
3. Трубопроводный транспорт нефти / *Г.Г. Васильев, Г.Е. Коробков, А.А. Коршак и др.;* Под редакцией С.М. Вайнштока: Учеб. для ВУЗов: В 2
4. http://www.pskovgeokabel.ru/catalog/tubes/130

05.02.13

С.Н. Голышев, С.Н. Ермаков, С.Н. Семёнов

ООО НИП «Дельта-Т»,
Псков, delta-t.dma@mail.ru

СОЕДИНИТЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ДЛЯ ГИБКИХ ПОЛИМЕРНО-АРМИРОВАННЫХ ТРУБ

В статье рассмотрены конструкции существующих соединительных элементов для гибких полимерно-армированных труб. Выявлены и проанализированы недостатки этих конструкций.

Предложено конструктивное решение, обеспечивающее высокие требования герметичности, надёжности, а также способность воспринимать большие осевые нагрузки.

Ключевые слова: *соединительный элемент, наконечник, полимерно-армированная труба.*

Металлополимерные трубопроводы находят широкое применение в качестве промысловых, технологических трубопроводов, а также в системах дозирования химических реагентов.

Гибкая полимерно-армированная труба высокого давления изготавливается из полимера и армируется несколькими повивами стальной высокопрочной проволоки и (или без неё) стальной ленты.

Конструкция и размеры трубы зависят от её назначения. На рисунке 1 представлено одно из конструктивных исполнений гибкой полимерно-армированной трубы. Одним из вариантов применения такой трубы является транспортировка жидкости (в некоторых случаях кислот, щелочей и других агрессивных сред), находящейся под высоким давлением, на глубину до четырех километров, поэтому требования на разрывное осевое усилие, внутреннее и внешнее давление, является основными. Значительные осевые нагрузки возникают от собственного веса трубы, от веса закрепленного на конце инструмента и т.д..

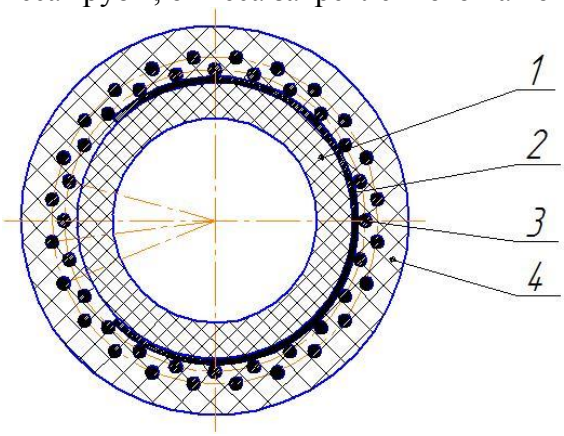


Рис. 1- Конструкция полимерно-армированной грузонесущей трубы высокого давления: 1 - внутренняя полимерная труба;
2 - поперечное армирование стальной лентой;
3 - повивы брони стальной проволоки,
4 - наружная полимерная оболочка.

Внутренняя полимерная трубка 1 является непосредственно гидроканалом, по которому под давлением перемещается жидкость. Поверх полимерной трубки повита стальная лента 2 - основной элемент, воспринимающий радиальную нагрузку. Конструктивно это высокопрочная стальная лента, наложенная с минимальным шагом. Таким образом,

достигается сочетание высоких характеристик гибкости и величины внутреннего давления. Слои брони стальной проволоки 3, навитые поверх стальной ленты в противоположные стороны, выполнены из высокоуглеродистой стали, обеспечивают требуемую величину разрывного усилия. Оболочка из полимерного материала имеет высокие антикоррозионные свойства и защищает от механических повреждений армировку трубы.

Очевидно, что для эффективной эксплуатации трубы необходимо использовать специальные соединительные элементы, служащие для присоединения трубы к элементам конструкций или к промышленному оборудованию, а также соединения отрезков трубы между собой. Такого рода соединения должны обеспечивать герметичность и надёжность при нахождении под воздействием внутреннего и наружного давления, быть стойкими при нагружении трубопровода осевой силой. Обязательное условие - небольшие поперечные габариты наконечников (соединений), ввиду использования в стесненных условиях (в скважине). Немаловажными требованиями являются простота конструкции и удобство монтажа. Сохранение прочностных и эксплуатационных свойств полимерно-армированных труб в течение длительного времени зависит от сохранения свойств материалов, из которых они изготовлены. Поэтому конструкция соединений должна предотвратить попадание внешней агрессивной среды, вызывающей коррозию и разрушение армирующих элементов, под полимерную оболочку.

Существует большое количество соединительных элементов, обеспечивающие требования к герметичности, надёжности и технологичности соединений металлополимерных труб. На рисунке 2 показано соединение ниппеля с гибким рукавом [1]. Гибкий рукав может быть выполнен, например, из полимерного армированного или неармированного трубопровода.

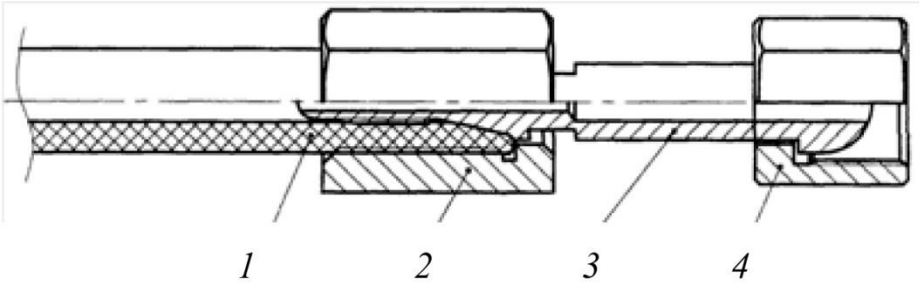


Рис. 2- Соединение ниппеля с гибким рукавом:
1 - рукав; 2 - втулка; 3 - ниппель; 4 - гайка.

При монтаже таких наконечников, при соединении ниппеля с гибким рукавом происходит деформация рукава 1 конической поверхностью ниппеля 3, содержащего коническую и цилиндрическую части с резьбой, и поджатие рукава к цилиндрической втулке 2, размещаемой на наружной поверхности рукава. Сначала вставляют ниппель в рукав на возможную длину, а затем на наружную поверхность рукава закручивают втулку с внутренней резьбой на длину, равную длине конической резьбовой части ниппеля. Внутрь рукава вкручивают ниппель на длину конической части, затем доворачивают до упора наружную втулку, а затем доворачивают до упора ниппель.

Недостатком данного способа является восприятие невысоких осевых нагрузок. Низкие значения воспринимаемых осевых нагрузок связаны с тем, что в данном способе не предусмотрено закрепление армировки гибкой полимерно-армированной трубы, в результате чего допустимая осевая нагрузка данного соединения напрямую зависит от прочностных характеристик полимерного материала, из которого изготовлена гибкая полимерно-армированная труба. В известных литературных источниках показано, что полимерные материалы, из которых изготавливают гибкие полимерно-армированные трубы (например, полиэтилен, винипласт), не обладают высокой прочностью.

В отличие от предыдущего соединения, в ряде конструкций наконечников, предусмотрены элементы для крепления армировки трубы. На рисунке 3 представлен один из таких соединительных элементов [2], для крепления которого на полимерном

армированном металлической оплеткой шланге 7 на ниппеле 1 оголяют оплетку 8 с концом шланга, насаживают конец шланга с оголенной оплеткой на хвостовик ниппеля до упора в кольцевой выступ 4, защемляют оголенную оплетку между кольцевым выступом и накидной муфтой 5, проводят радиальное обжатие накидной муфты по двум поясам 3 и 6, располагаемым по разные стороны кольцевого выступа хвостовика ниппеля и при этом подвергаемые радиальному обжатию пояса накидной муфты разделяют между собой кольцевой канавкой, например проточкой, а диаметры поясов муфты после обжатия выполняют равновеликими.

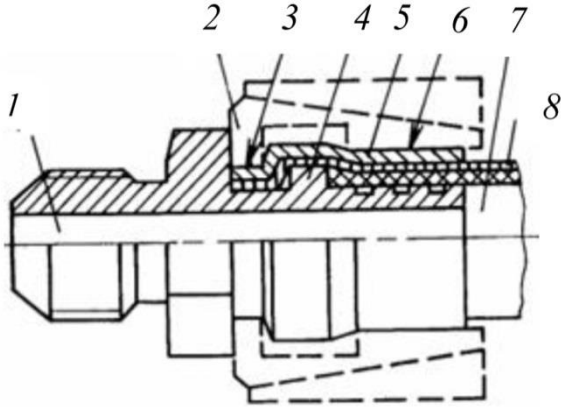


Рис. 3- Соединение ниппеля с гибким рукавом с креплением за армирующую оплетку: 1 - ниппель; 2 - обжимающее цанговое или кулачковое приспособление; 3, 6 – пояса; 4 - кольцевой выступ; 5 - накидная муфта; 7 – полимерно-армированный шланг;8 - оплётка.

Недостатком данного способа является его недостаточная надежность. Недостаточная надежность связана с отсутствием уплотнительных элементов, расположенных между ниппелем и накидной муфтой, вследствие чего внешняя среда (например, флюид) проникает в зазоры между ниппелем и накидной муфтой, контактируя с металлической оплеткой, что приводит к её коррозии, а следовательно, и к уменьшению несущей способности концевого соединения и снижению его срока службы.

Существующие конструкции наконечников имеют вышеуказанные недостатки, которые ограничивают условия эксплуатации полимерно-армированных труб. Для повышения надёжности соединения, обеспечения герметичности при высоких давлениях, а также обеспечения высоких значений осевых нагрузок разработано соединение для труб полимерных армированных стальной проволокой и (или без неё) стальной лентой (рис.4).

Штуцер 3 снабжён обжимной кольцевой канавкой и примыкающей к ней уплотнительной кольцевой канавкой, а армировку с конца гибкой полимерно-армированной трубы 1 оголяют на длине, превышающей ширину обжимной кольцевой канавки штуцера, включающий осевую сборку соединения, в ходе которой конец гибкой полимерно-армированной трубы с оголенной оплеткой насаживают на кольцевые канавки до упора в установочный буртик 7. Перед установкой конца гибкой полимерно-армированной трубы на кольцевые канавки штуцера в уплотнительную кольцевую канавку устанавливают уплотнительное кольцо 4, а после установки конца гибкой полимерно-армированной трубы на кольцевые канавки штуцера заправляют под обжимное кольцо 5 оголенную армировку гибкой полимерно-армированной трубы, и обжимают обжимное кольцо в кулачковом или цанговом приспособлении прямыми кулачками, затем на штуцер со стороны свободного конца надевают корпус до упора буртика в торец гибкой полимерно-армированной трубы, после чего производят обжатие корпуса в кулачковом или цанговом приспособлении прямыми кулачками.

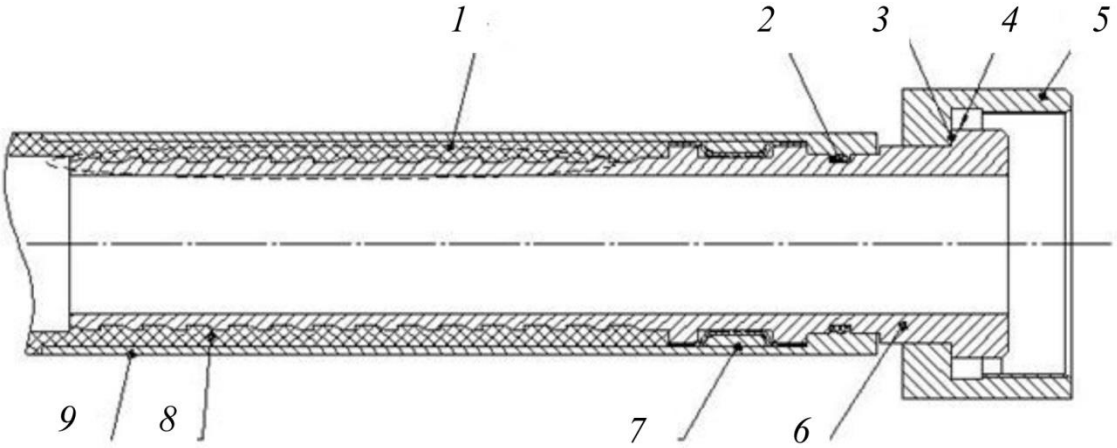


Рис. 4 Общий вид концевого соединения с накидной гайкой:
1 - кольцевые канавки; 2 - уплотнительное кольцо; 3 - буртик;
4 - гладкая наружная поверхность штуцера; 5 - накидная гайка;
6- штуцер; 7 - обжимное кольцо; 8 - полимерно-армированная труба;
9 - корпус;

Повышение надежности соединения штуцера с гибкой полимерно-армированной трубой происходит за счёт того, что перед обжатием гибкой полимерно-армированной трубы 8 между корпусом 9 и штуцером 6 в уплотнительную кольцевую канавку на штуцере устанавливается уплотнительное кольцо 2, которое при обжатии герметизирует пространство между корпусом и штуцером, что позволяет избежать контакта внешней среды с материалом оплетки и следовательно, уменьшить его коррозию, а также избежать уменьшения несущей способности концевого соединения и увеличить его срок службы.

В рамках выполнения государственного контракта №14.527.12.0026 на выполнение опытно-конструкторских работ по теме: «Разработка, организация производства номенклатурного ряда шлангокабелей, полимерных армированных трубопроводов, технических средств и технологий их использования в нефтяной и газовой промышленности» при финансовой поддержке Министерства науки и образования, проводился комплекс испытаний труб грузонесущих полимерно-армированных ТГ20/38-90, ТГ 40/76-250+3х6, ТГ 50/64-100. Концевыми соединениями, конструкция которых представлена на рисунке 4, оснащались образцы вышеуказанных труб. Испытания проводились при внутренних давлениях до 40 МПа и осевых растягивающих усилиях более 150 кН.

Соединительные элементы являются слабыми звеньями в общей цепи металлополимерных трубопроводов, а разгерметизация при любой температуре рабочей жидкости происходит в области, находящейся на расстоянии 10-15 мм от обжимной втулки, так как это наиболее нагруженная часть трубопровода [3]. В процессе испытаний не было выявлено нарушений герметичности концевых соединений, разрушение труб происходило по телу трубы вдали от концевых соединений, что говорит о не больших значения напряжений в материале трубы, создаваемых при деформации вблизи наконечника. При испытаниях на установление разрывного усилия разрыв армирующих элементов происходил на значительном удалении от наконечников. Это также говорит о том, что разработанные соединительные элементы не являются слабым звеном в трубопроводных системах.

Результаты многочисленных испытаний показывают, что разработанная конструкция концевых соединений обеспечивает герметичность полимерных армированных трубопроводов при больших значениях внутренних давлений в течение длительных промежутков времени. Предложенный способ крепления за армирующие элементы позволяет получить высокие показатели осевого разрывного усилия. Применение уплотнительных колец, исключающих попадания жидкости к элементам армировки,

позволяет исключить коррозию последних, а соответственно увеличить срок эксплуатации труб.

Список литературы

1. Патент РФ № 2007137426/06, 09.10.2007. *В.В. Шайдаков, Е.В. Шайдаков, О.Ю. Полетаева, А.А. Шайхинуров*. // Патент России № 2350825. 2009. Бюл. № 9.
2. Патент РФ № 94010660/06, 28.03.1994. *Н.В. Хамидович, Кононенко С.А.*. // Патент России № 2066014. 1996.
3. *Людвиницкая А.Р., Паливода Р.Б., Халилов А.А., Чернова К.В., Шайдаков В.В., Шайдаков Е.В.* Повышение надёжности металлополимерных трубопроводов с соединительными элементами// Территория нефтегаз. – 2011.-№10.-С. 80-83

05.13.11

Д.А. Давыдов, П.С. Манылов

Уральский федеральный университет имени первого президента России Б.Н. Ельцина,
Физико-технический институт, кафедра вычислительной техники,
Екатеринбург, kiver@inbox.ru, info@sdelki24.ru

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ NOSQL-СУБД

В настоящей статье описаны результаты исследования сравнительно нового течения в области систем управления базами данных - так называемые NoSQL-СУБД. Описано, что включает в себя это течение, предпосылки к его появлению, текущее состояние, прогноз на будущее. Исследование проведено с целью определения перспективных направлений разработок в области СУБД.

Ключевые слова: *NoSQL, СУБД.*

Введение

С середины 90-х годов для СУБД фактически стандартом являются реляционные СУБД, поддерживающие язык запросов SQL (далее для краткости будем их называть SQL-СУБД) [1]. Разработчики отходили от этого стандарта почти исключительно при проектировании собственных баз данных под отдельные высоконагруженные проекты. Примерно с 2006 года ситуация начала меняться, стали появляться серийные решения, не поддерживающие SQL-стандарт.

Термин NoSQL получил распространение в 2009 году, он объединяет очень большой набор различных решений в области СУБД. Можно выделить два основных признака конкретной СУБД, наличие которых позволяет отнести ее к классу NoSQL:

1. Отсутствие либо частичная поддержка реляционной модели данных. Более того, большинство NoSQL-баз данных просто неструктурированы: в отдельные строки и документы можно добавлять произвольные поля, отсутствующие в соседних строках или документах и т.п.
2. Как следствие первого пункта - внешний интерфейс базы данных полностью (реже частично) несоответствует SQL-стандартам.

Прежде чем описывать NoSQL, очевидно, нужно описать SQL-СУБД, и в дальнейшем отталкиваться от него. В следующем разделе настоящей статьи обозначены основные свойства SQL-СУБД. Далее будет дано описание основных подходов в NoSQL и их обоснование. Затем будет сделан вывод о дальнейшем развитии NoSQL.

Ключевые свойства SQL-СУБД [1]

Большинство современных аппаратных средств предоставляют программному обеспечению область оперативной памяти и область постоянной памяти (жесткий диск или флэш-память). Очевидно, требования по сохранности данных, предъявляемые к большинству информационных систем, не позволяют хранить данные в оперативной памяти. В то же время, стандартные средства операционных систем для доступа к постоянной памяти (например, файловая система) являются очень грубыми. Ключевым свойством всех современных SQL-СУБД является наличие средств для гибкого доступа к данным в области постоянной памяти, иначе говоря SQL-СУБД предоставляют средства постоянного хранения данных.

Другая функция SQL-СУБД - обеспечение параллельной работы с данными для нескольких пользователей. Фактически возможность параллельной работы достигается обеспечением согласованности данных в каждый момент времени. Основной механизм обеспечения согласованности - это механизм транзакций. В теории реляционных баз данных к транзакциям предъявляются следующие требования:

1. Атомарность
2. Согласованность
3. Изолированность
4. Долговечность

Еще одним принципом построения SQL-СУБД является общность подходов с точки зрения прикладных разработчиков, что критически важно при создании больших систем, в разработке которых участвуют множество независимых разработчиков. SQL-СУБД предоставляют некоторый набор стандартных практик (особенно при решении описанных выше задач), обеспечивающих эту общность. В частности, к таким практикам относится общий язык запросов (SQL), соблюдение принципа транзакционности, принципы построения отчетов и другое.

Главным отрицательным свойством SQL-СУБД являются сложности с поддержкой кластеризации. Наиболее “прямой” способ кластеризации SQL-СУБД - организация общей дисковой подсистемы. Это способ во всех смыслах дорогой, не очень надежный и достаточно ограниченный по производительности. Другой способ - шардинг - фактически заключается в разделении базы данных на изолированные части и разнесении их на кластеры. Еще один способ - репликация (master-slave или пиринговая репликация) - заключается создании копий базы данных на нескольких кластерах.

Другая проблема с SQL-СУБД - рассогласование нагрузки. Реляционная модель данных подразумевает организацию данных в структуру рядов и таблиц, или, выражаясь более обще, кортежей и отношений. Кортеж - это набор пар имя-значение, отношение - это набор кортежей. Все операции в SQL принимают и возвращают отношения, благодаря чему появляется возможность очень элегантного использования реляционной алгебры.

Такой подход достаточно прост и красив, но имеет существенные ограничения. Например, одно из ограничений состоит в том, что значение в паре имя-значение не может представлять собой никакую сложную структуру (например, оно не может быть списком или содержать вложенные значения). Подобного ограничения не существует для структур данных в памяти приложения, которые могут быть, фактически, сколь угодно сложными и содержать любые отношения. Вследствие этого, если разработчику нужно держать в памяти приложения сложные структуры данных (а ему это почти всегда нужно), возникает необходимость в трансляции этих структур в реляционную структуру данных.

Отчасти проблема рассогласования нагрузки решается разнообразными фреймворками, предоставляющими механизмы автоматической трансляции объектной модели данных в реляционную, так называемого объектно-реляционного отображения. Остановимся на них подробнее.

Простейшая реализация этой трансляции заключается в преобразовании объектных синтаксических конструкций в SQL-запросы. С этой целью для таблицы в реляционной базе данных создается класс-обертка, при этом каждому экземпляру класса соответствует строка в таблице. Над данным классом возможны всего три операции: добавление, изменение и удаление. Совершение этих операций соответственно добавляет, изменяет или удаляет строку в таблице. Кроме того, класс предоставляет доступ к своим атрибутам, каждому из которых соответствует столбец в таблице, и таким образом через экземпляр класса можно получить доступ к ячейке таблицы. Когда производится более сложная трансляция, например, одного объекта в несколько таблиц, по сути, мы делаем над реляционной базой данных некую эмуляцию объектной базы данных в терминах используемого объектного языка программирования.

Основные направления построения NoSQL-СУБД [2,3]

С точки зрения автора в контексте данной работы наиболее адекватна категоризация NoSQL-СУБД по используемой модели данных. Выделяются следующие модели данных:

1. Документо-ориентированные
2. “Ключ-значение”

3. “Column-family” (адекватного перевода на русский язык не существует, поэтому используем английский термин)

4. На основе графов

Первые три модели обычно называют “агрегатными”. Смысл агрегата состоит в следующем. Часто при разработке приложений возникает потребность неким образом объединить набор данных в более сложную структуру, нежели набор кортежей; для этого объединения данных нужно неким образом определить возможные операции. Как правило, определение возможных операций связано с управлением согласованностью. В свою очередь это обычно означает наличие неких неделимых операций по преобразованию одного агрегата; кроме того, запросы на операции с данными из приложения в базу данных и ответы на эти запросы идут в определениях агрегатов. Таким образом агрегатная модель данных решает проблему рассогласования нагрузки.

Кроме того, агрегатная модель, очевидно, решает проблемы кластеризации: каждый экземпляр агрегата можно хранить на отдельном кластере.

Главная проблема агрегатной модели состоит в том, что может возникнуть необходимость один и тот же набор данных поместить в разные агрегаты, при этом модификация этого набора данных будет осложнена. Для иллюстрации рассмотрим систему обработки заказов интернет-магазина. Пусть в ней будет две сущности: заказ и клиент. У обоих сущностей пусть будет атрибут “адрес”, при этом во всех заказах одного клиента должен быть указан адрес этого клиента.

Другая проблема состоит в том, что даже если данные не дублируются, бывает очень сложно провести четкие границы между агрегатами по этим данным. Для иллюстрации рассмотрим тот же пример с интернет-магазином. На первый взгляд выделение агрегата “заказ” очень логично, поскольку это сущность из реального мира. Однако в случае, если управляющему магазина захочется получить статистику по реализации товаров, придется выгружать из базы данных все заказы и разбирать их. Отметим, что в реляционной модели данных такой проблемы не существует: посредством внешних ключей один и тот же набор данных может быть одинаково связан с другими наборами данных. (Проблема лишь в том, что все эти связи с точки зрения базы данных одинаковы, семантика связей в базе данных не отражается.)

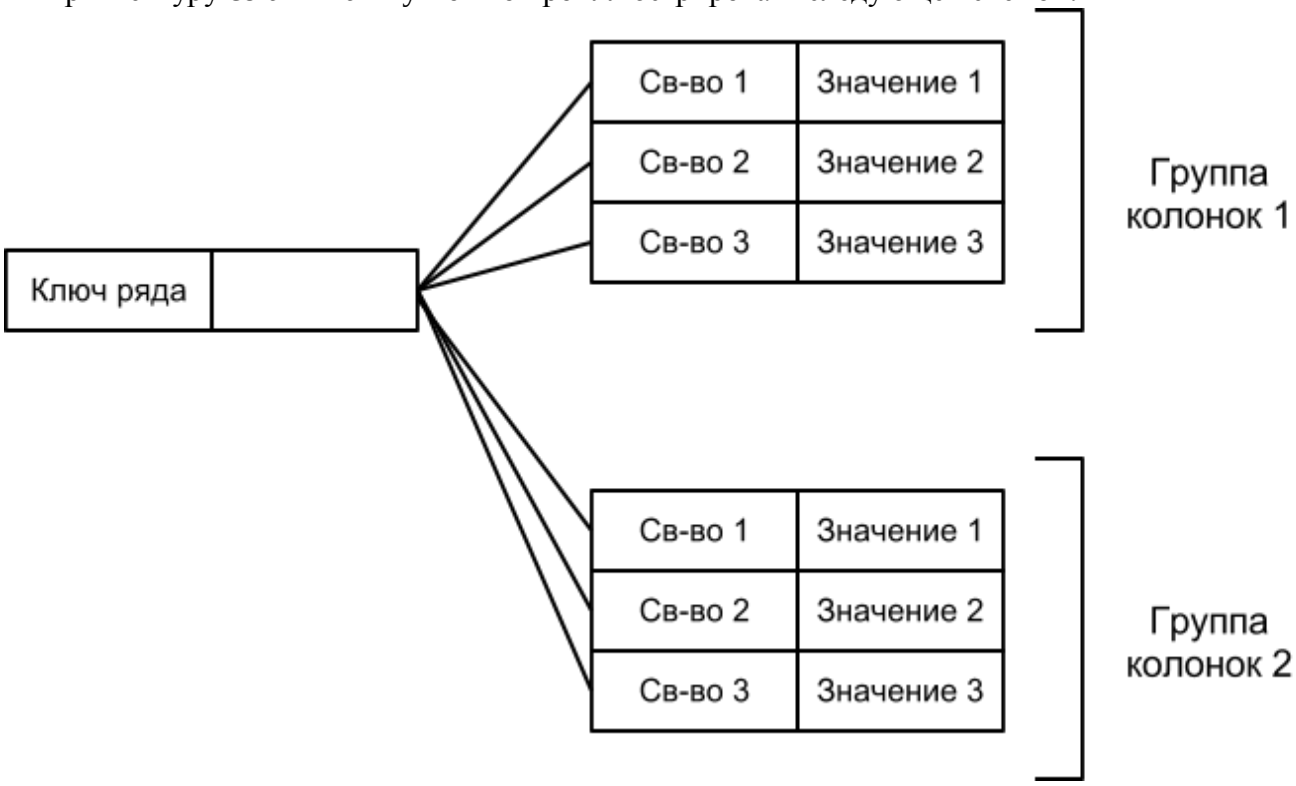
Наиболее характерным воплощением агрегатной модели являются документо-ориентированные СУБД. Основная сущность в них - это, естественно, документы. Документы могут иметь форматы XML, JSON, BSON и другие подобные им. Документы представляют собой самоописываемые иерархичные структуры данных, содержащие в себе коллекции, скалярные значение, структуры map и т.д.

Документы хранятся как значение в хранилище пар “ключ-значение”. Документо-ориентированные хранилища можно мыслить как хранилища типа ключ-значение, в которых значение соответствующим образом структурировано и может быть обработано.

Хранилище данных ключ-значение представляет собой простую хэш-таблицу. В контексте теории реляционных баз данных такое хранилище можно мыслить как таблицу из двух столбцов: “id” и “name”, где в столбце “id” хранится ключ, а в столбце “name” хранится значение. Такая модель данных является наиболее простой с точки зрения внешнего интерфейса, в нем возможны всего три операции: получение значения по ключу, установка значения для ключа и удаление ключа. Значение в общем случае представляет собой набор данных, который база данных просто хранит, без какой-либо метаинформации о структуре хранимых данных или еще о чем-то, забота о всей этой информации переложена на код приложения. Поскольку доступ к данным в базах данных ключ-значение всегда осуществляется по первичному ключу, такие БД обеспечивают выдающиеся характеристики по быстродействию и масштабированию.

Значения в паре “ключ-значение” могут быть самыми разными структурами.

Архитектуру column-family можно проиллюстрировать следующей схемой:

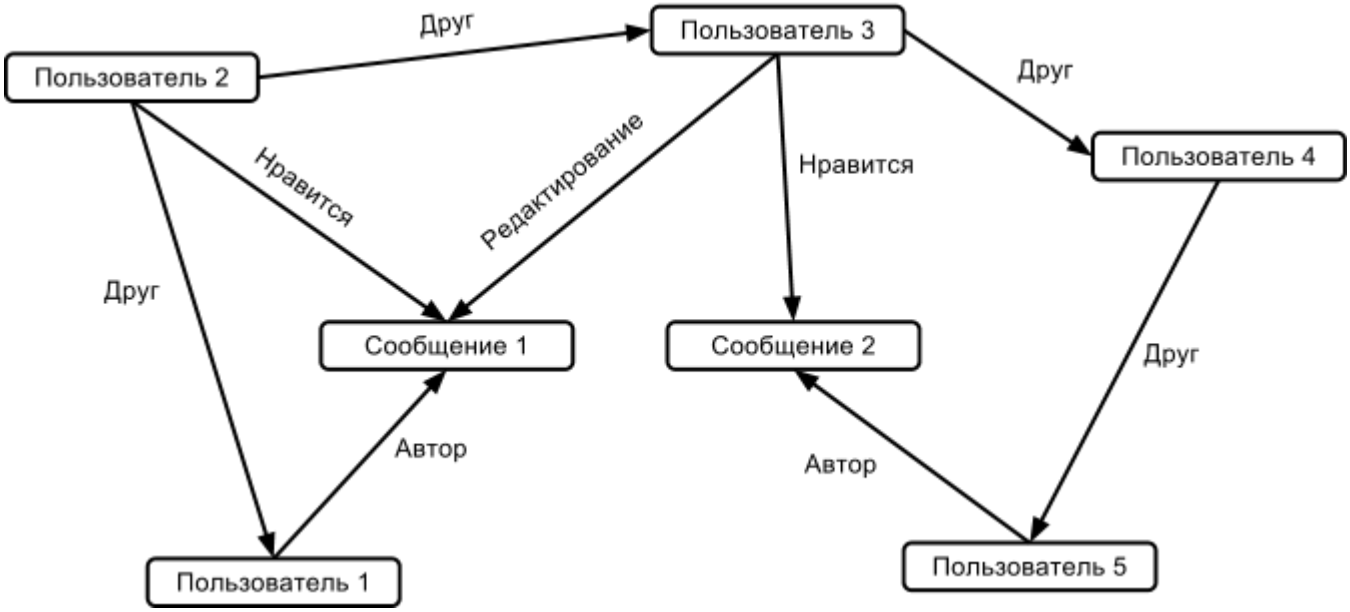


Column-family-базу данных можно мыслить как базу данных ключ-значение, к которой значение является ссылкой на двух колоночные таблицы ключ- значение.

В терминах реляционных баз данных column-family можно мыслить как две таблицы. В каждой строке первой таблицы содержится множество ключей на строки второй таблицы.

По сравнению с реляционными базами данных column-family предосталяет механизм агрегирования. По сравнению с архитектурой “ключ-значение” и документо-ориентированной архитектурой column-family предоставляет механизмы быстрого доступа к атрибутам агрегата.

Для иллюстрации архитектуры на основе графов обычно используют социальные сети.



Основную идею баз данных на основе графов формулируют как “простые объекты с большим количеством сложных связей”. В разных реализациях в качестве объектов могут выступать простые наборы атрибутов, Java-объекты и другое.

Наиболее удобна такая модель данных в случаях, когда нужно проследить связи между объектами при большом количестве и разнообразии этих связей. Например, пусть нам нужно получить все сообщения, авторами которых являются друзья друзей пользователя 3. Для этого мы находим пользователя 3 и последовательно прослеживаем нужные связи с учетом их типа.

Перспективы развития NoSQL-СУБД

В настоящее время при проектировании информационных систем выбор по умолчанию по прежнему падает на SQL-СУБД. Вопрос об использовании NoSQL возникает почти исключительно в случаях больших нагрузок, при этом выбор конкретной СУБД определяется в основном моделью данных системы. Многообразие имеющихся NoSQL-СУБД во многом определяется разнообразием типов моделей данных, под каждую задачу - своя СУБД. В подавляющем большинстве случаев перед разработчиками стоит выбор: воспользоваться либо стандартными средствами SQL-СУБД, либо разработанной под подобный тип задач NoSQL-СУБД. В двух предыдущих разделах описано, чем при этом руководствуются разработчики на высоком уровне.

Таким образом возникает задача анализа каждого направления развития NoSQL-СУБД в отдельности. Однако есть один момент, уже упомянутый выше, общий для всех направлений - общность подходов с точки зрения прикладных разработчиков. На нынешнем этапе развития информационных технологий больше всего сил уходит не на разработку чего-то нового, а на освоение и доработку уже имеющихся модулей, проще говоря, разработчик гораздо больше времени тратит на просмотр чужого кода, чем на написание своего, поэтому в любом большом проекте общность подходов всегда предельно критична. Автором было изучено множество описаний крупных проектов с использованием NoSQL-СУБД, и главной проблемой почти везде обозначалось освоение разработчиками новых подходов к работе с базой данных. Отчасти данная проблема решается доработкой имеющихся средств объектно-реляционного отображения: на “входе” этих средств будет все тот же программный код, а на “выходе” - модель данных, соответствующая выбранной СУБД. Для многих средств объектно-реляционного отображения такие разработки уже ведутся.

Выводы

Существует несколько основных направлений развития NoSQL-СУБД, на каждое из них действуют собственные факторы. Общим для всех направлений тормозящим фактором является отсутствие общих подходов для прикладных разработчиков. Этот фактор отчасти нивелируется специальными средствами трансляции объектных конструкций языков программирования в модели данных СУБД.

Приведенные в данной статье результаты получены в результате выполнения работ по государственному контракту № 14.514.11.4008

Список литературы

1. *R. Ramakrishnan, J. Gehrke,* Database Management Systems, Osborne/McGraw-Hill Berkeley, CA, USA
2. *Haihong E., Le Guan, Du Jian,* Survey on NoSQL database, Pervasive Computing and Applications (ICPCA), 2011 6th International Conference on 26-28 Oct. 2011, p. 363-366
3. *Nishtha Jatana et al.* A Survey and Comparison of Relational and Non-Relational Database, International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), ISSN: 2278-0181, Vol. 1 Issue 6, August - 2012

05.18.07

[1]Д.А. Еделев, [2]М.Г. Сульман, [2]А.И. Сидоров, [3]Е.В. Ожимкова, [3]Б.Б. Тихонов, [2]В.Ю. Долуда, [3]Э.М. Сульман, [2]Г.Ю. Рабинович

[1]Московский государственный университет пищевых производств, Москва
[2]Тверской государственный технический университет, Тверь
[3]Тверской государственный университет, Тверь
Тверь, science@science.tver.ru

ВОЗМОЖНЫЕ ПУТИ БИОКОНВЕРСИИ САПОНИНСОДЕРЖАЩИХ РАСТИТЕЛЬНЫХ ОТХОДОВ

В статье изучена возможность проведения биокаталитической утилизации органических отходов производства сапонинов из корня Saponaria officinalis. Практическое использование этого процесса позволит обеспечить переработку отходов с получением ценных продуктов, в первую очередь - удобрений.

Ключевые слова: *сапонины, Saponaria officinalis, биоконверсия, растительные отходы.*

В последние годы значительно увеличилась интенсивность использования микробиологических процессов для биоконверсии растительного сырья, то есть для превращения компонентов растительной массы в полезные вещества и продукты с помощью микроорганизмов. Особая перспективность работ, посвященных биоконверсии растительного сырья, определяется тем, что ресурсы растительного сырья возобновляемы и практически неисчерпаемы. Для повышения экологичности и экономической эффективности процессов утилизации органических отходов необходимо создание новых методов биоконверсии путем использования более эффективных микроорганизмов и технологических режимов процесса.

Эффективность биоконверсии зависит от очень широкого диапазона факторов: генетических свойств микроорганизма, характера субстрата, биохимических и физиологических процессов и т.д. Известно много способов интенсификации процессов биоконверсии: оптимизация состава питательной среды и условий культивирования микроорганизмов, повышение концентрации микробной биомассы в среде, иммобилизация клеток на инертном носителе, внедрение непрерывных процессов и их автоматизация, совершенствование технологического оборудования [3].

В условиях современного рынка комплексная переработка растительного сырья имеет особое экономическое значение. В последнее десятилетие за рубежом для решения сырьевых и энергетических проблем активно ведутся работы по получению биоэтанола и фурфурола на основе древесины и сельскохозяйственных отходов. В производстве биоэтанола чаще всего используют альтернативные технологии комплексной переработки растительного сырья.

Сапонины являются объектом повышенного внимания биотехнологов благодаря их биологическим свойствам [5, 6]. Широкий спектр биологического действия сапонинов базируется на способности этих веществ модифицировать структурно-функциональные свойства клеточных мембран. Сапонины обладают гемолитической, цитотоксической, антивирусной, антифунгальной, антидрожжевой и антипаразитрной активностью [6]. Сапонины способствуют быстрому усвоению воды и столь же быстрому ее дренированию. Но наиболее интересной их особенностью является то, что при введении их в ту или иную экосистему они способствуют созданию особой микрофлоры. Эта микрофлора становится источником быстрой пролиферации благотворных микроорганизмов и бактерий и уничтожения патогенных микроорганизмов и бактерий. Сапонины могут оказывать влияние на проницаемость растительных клеток. Определенные концентрации сапонинов ускоряют

прорастание семян, рост и развитие растений, а в увеличенных концентрациях могут их тормозить. Особую роль выполняют в растениях фриделиновые тритерпены (фриделин, церин), поскольку они содержатся в лубе растений [1].

Биотрансформация тритерпеновых гликозидов проходит последовательно в 2 стадии. В первую очередь отщепляются и подвергаются биотрансформации (гидролизу) боковые олигосахаридные цепи, которые являются источником энергии для микроорганизмов. Биотрансформация тритерпенового пентациклического агликона затруднена из-за наличия циклических звеньев и обычно заключается в изменении характера функциональных групп [4, 7, 11]. В работе [7] приведены результаты исследований по микробной биотрансформации моно- , ди- и тритерпенов, в частности - 18β-глицирризиновой кислоты, широко известного биологически активного вещества корня солодки (Glycyrrhiza radix). Она была подвергнута ферментации Cunninghamella elegans с получением гидроксилированного продукта - 3β,7β-дигидрокси-11-оксо-олеан-12-ен-30-оевой кислоты. Этот продукт ранее уже был получен при ферментации 18β-глицирризиновой кислоты Curvularia lunata [10]. Также она была ферментирована Fusarium lini с получением окисленного метаболита- 3,11-диоксо-олеан-12-ен-30-оевой кислоты, который является полусинтетическим производным 18β-глицирризиновой кислоты [8], ее микробным метаболитом [15], а также был изолирован из Maytenus undata [13]. Таким образом, было показано, что биотрансформации подвергаются только функциональные группы агликона 18β-глицирризиновой кислоты. В статье [12] исследована биодеградация сапонинов Quillaja saponaria смешанной культурой микроорганизмов рубца. Сапонины инкубировались при 39°C in vitro в среде, содержащей жидкость из рубца коровы, откармливаемой грубой пищей. Инкубация в течение 9, 12 и 24 ч уменьшила содержание сапонинов на 16%, 45% и 100% соответственно. В работе [14] изучена биоконверсия стероидных сапонинов в Dioscorea zingiberensis грибом Aspergillus oryzae с получением диосгенина. Во время биотрансформации гидролизировались сахарные цепи сапонинов и содержание продукта гидролиза (диосгенина) увеличилось в 16 раз за 84 часа брожения. В статье [9] исследовали способность сапонинсодержащей суспензии увеличивать аэробную биодеградацию фенантрена. Эксперименты показали уменьшение содержания кислорода с 20% до 5% в течение 5 дней и, соответственно, 34.4%-ную конверсию начального фенантрена через 8 дней. Таким образом, сапонинсодержащие растительные отходы являются перспективным сырьем для проведения процессов биоконверсии.

Эффективность процесса биоконверсии растительного сырья существенно зависит от состава питательной среды. В связи с этим задачей данного исследования было изучение элементного состава сапонинсодержащих растительных отходов, по результатам которого можно сделать вывод о целесообразности использования растительных отходов в биотехнологическом производстве органических удобрений.

Методики проведения экспериментов

Объектами исследований являлись сапонинсодержащие растительные отходы производства водного экстракта корней Saponaria officinalis.

1) Рентгенофотоэлектронная спектроскопия (РФЭС)

Фотоэлектронные спектры были получены с помощью модифицированого электронного спектрометра ЭС 2403 М-Т СКБ АП РАН оснащенного анализатором энергий PHOIBOS-100-MCD (SPECS, Германия) и рентгеновским источником XR-50 (SPECS, Германия). Для возбуждения использовалось характеристическое MgKα излучение (hν = 1253.6 эВ) мощностью 100 Вт. Статическая зарядка образца нейтрализовалась потоком низкоэнергетических электронов. Измельченный лиофильно высушенный образец материала был закреплен на предметном столике с помощью двусторонней липкой ленты, помещен в шлюзовую камеру и дегазирован при 1 Па в течении 20 мин. После чего образец был перенесен в высоковакуумную камеру и дегазирован до давления $1 \cdot 10^{-6}$ Па в течении 1 часа, затем дегазированный образец был перенесен в аналитическую камеру и подвергнут анализу. В ходе эксперимента регистрировался обзорный спектр образца в диапазоне энергий

0-1100 эВ с шагом 0.5 эВ и энергией пропускания анализатора 40 эВ, что соответствует ПШПВ Ag $3d_{5/2}$ 1.4 эВ. Время накопления сигнала 0.5 с.

2) Рентгенофлюоресцентный анализ (РФА)

В работе использовали рентгеновский аналитический спектрометр VRA-30 фирмы Karl Zeiss (Германия) и прибор Elemental analyzer (Китай, CARLO ERBA, MODEL 1106).

Результаты и обсуждение

Результаты РФЭС и РФА исследований представлены на рисунке 1 и в таблице 1.

По результатам теоретических и экспериментальных исследований возможности биоконверсии растительных отходов, содержащих сапонины, можно сделать следующие выводы.

Растительные отходы, обычно подвергаются эффективной биоконверсии в составе сложной смеси, содержащей торф, навоз, птичий помет и другие органические отходы. В полученную смесь при необходимости вносятся экзогенные ферменты, минеральные вещества, факторы роста. Доля растительных отходов обычно составляет 30 - 50 %.

При использовании продуктов биоконверсии в качестве удобрений и для снижения затрат применяют смеси [2]:

- растительные отходы (30 - 50 %) - навоз (20 - 30 %) - торф (20 - 30 %);
- растительные отходы (30 - 50 %) - навоз (50 - 70 %);
- растительные отходы (30 - 50 %) - птичий помет (50 - 70 %).

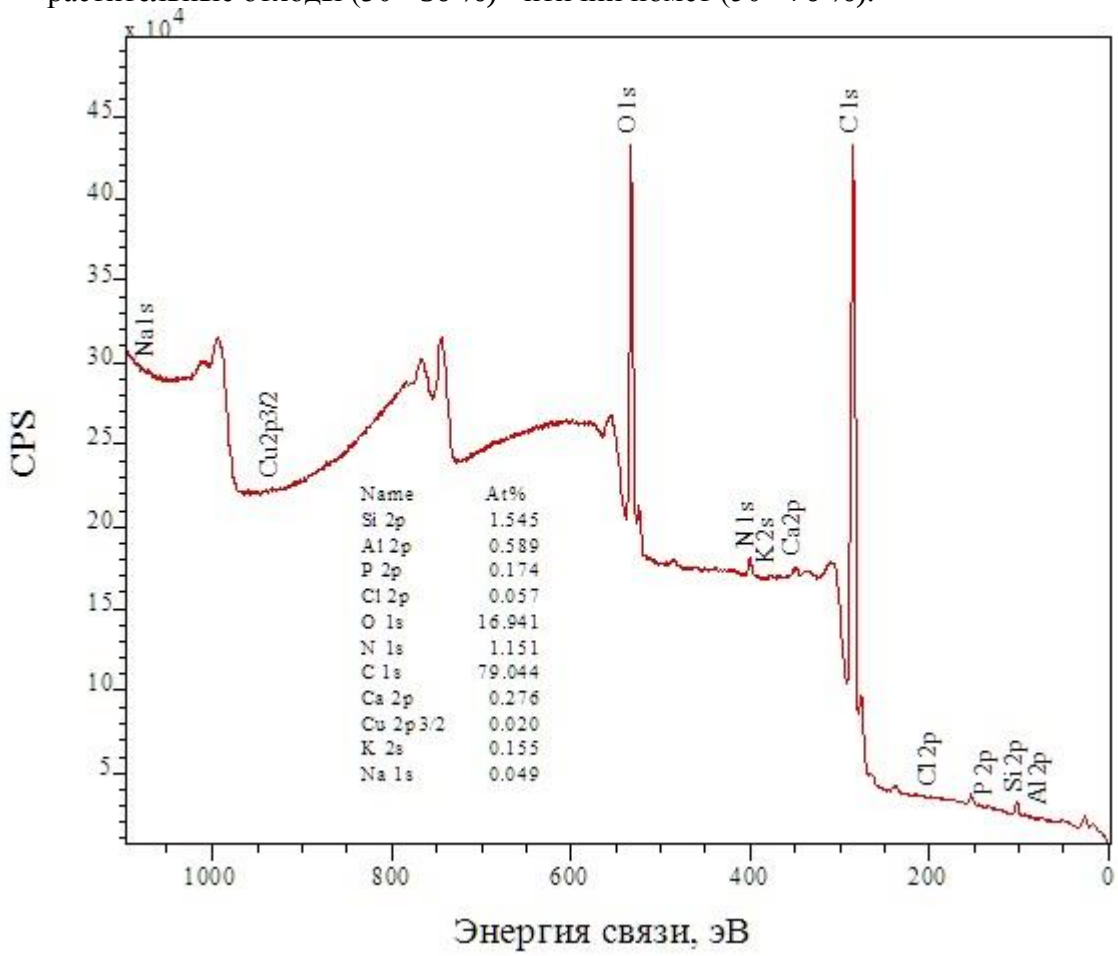


Рис. 1 - Состав образцов растительных отходов по данным РФЭС

Таблица 1 - Результаты элементного анализа образцов шрота Saponaria officinalis

Элемент	Результат, % масс.		
	Метод анализа		
	РФА		РФЭС
Азот	1.49	1.44	1.22
Углерод	46.06	46.37	71.76
Водород	6.61	6.52	-
Кислород	43.21	42.97	20.5
Алюминий	0.95	0.89	1.2
Фосфор	0.35	0.45	0.4
Хлор	0.07	0.08	0.16
Калий	0.53	0.6	0.47
Кальций	0.73	0.68	0.82
Медь	-	-	0.08
Натрий	-	-	0.09
Кремний	-	-	3.29

Другие компоненты и экзогенные ферменты обычно не применяются.

Растительные отходы производства водного экстракта сапонинов Saponaria officinalis содержат в основном полисахариды, в небольшом количестве белки, липиды и минеральные вещества, а также остаточное количество сапонинов. Исходя из результатов элементного анализа и брутто-формул белков, углеводов, сапогенина, липидов, можно рассчитать примерное содержание основных химических веществ в растительных отходах: углеводы - 72 - 73 %; липиды - 0.8 - 0.9 %; белки - 8 - 8.5 %; агликоны (сапогенины) - 5 - 6 %.

Тритерпеновые пентациклические сапонины в процессе биоконверсии биодеградируют ступенчато. В первую очередь отщепляются и подвергаются биотрансформации (гидролизу) боковые олигосахаридные цепи (как обычные олиго - и полисахариды). Они являются источником энергии для микроорганизмов. Биотрансформация тритерпенового пентациклического агликона затруднена из-за наличия циклических звеньев и обычно заключается в изменении характера функциональных групп. При этом происходит значительная потеря биологической активности исходного сапонина.

Сапонины, являясь поверхностно-активными веществами, могут положительно влиять на аэробную биодеградацию растительного сырья, особенно при суспензионной технологии биоконверсии.

Работа проводилась при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации за счет средств государственного контракта №16.522.12.2018.

Список литературы

1. *Муравьева Д.А., Самылина И.А., Яковлев Г.П.* Фармакогнозия. М.: Медицина, 2002. 656 с.
2. Патент - 2126779 РФ, МПК C05F9/00, A23K1/00. Способ получения кормовой добавки и удобрения из органических отходов / Н.Г. Ковалев, Г.Ю. Рабинович, Э.М. Сульман, С.Л. Пакшвер. - № 98100353/13; Заяв. 20.01.1998; Опубл.: 27.02.1999.
3. *Сушкова В.И., Воробьёва Г.И.* Безотходная конверсия растительного сырья в биологически активные вещества. М.: ДеЛи, 2008. 216 с.
4. *Толстиков Г.А., Балтина Л.А., Толстикова Т.Г., Шульц Э.Э.* Синтетические трансформации высших терпеноидов и алкалоидов (обзор). Химия и компьютерное моделирование. Бутлеровские сообщения. 2002. № 7, с. 9-20.
5. *Юдина Т.П., Гореньков Э.С., Черевач Е.И., Бабин Ю.В., Баркулова И.С., Сидорова Т.А., Масленникова Е.В.* Исследование процессов экстракции сапонинов из корней мыльнянки Saponaria officinalis L. // Хранение и переработка сельхозсырья. 2007. № 10. С. 21-23.
6. *Юдина Т.П., Сахарова Т.Г., Сахарова О.В., Юферова А.А., Черевач Е.И., Фролова Г.М.* Пищевая безопасность сапонинов корней Saponaria Officinalis L. // Известия вузов. Пищевая технология. 2010. №5-6. С. 22-25.
7. *Ali Siddiqui Z.* Biotransformational studies ofn bioactive secondary metabolites of plant origin. Dissertation, Doctor of Philosophy, Pakistan, H.E.J. Institute Research Institute of Chemistry, 2007.
8. *Baran* I.S., *Langford* D.D., *Liang* C.D., Pitzele B.S. Synthesis and biological activities of substituted glycyrrhetic acid // Journal of Medical Chemistry. 1974. Vol. 17. PP. 184-191.
9. *Choi Y.J., Kim Y.-J., Nam K.* Enhancement of aerobic biodegradation in an oxygen-limiting environment using a saponin-based microbubble suspension // Environmental Pollution. 2009. Vol. 157. PP. 2197–2202.
10. *Choudhary M.I., Siddiqui Z.A., Nawaz S.A., Rahman A.* Microbial transformation of 18β-glycyrrhetinic acid by Cunninghamella elegans and Fusarium lini, and lipoxygenase inhibitory activity of transformed products // Natural Product Research: Formerly Natural Product Letters. 2009. Vol. 23. Iss. 6. PP. 507-513.
11. *Lindmark-Henriksson M., Isaksson D., Vanek T., Valterová I., Högberg H.-E., Sjödin K.* Transformation of terpenes using a Picea abies suspension culture // Journal of Biotechnology. 2004. Vol.107. PP. 173–184.
12. *Makkar H.P.S., Becker K.* Degradation of quillaja saponins by mixed culture of rumen microbes // Letters in Applied Microbiology. 1997. Vol. 25. PP. 243-245.
13. *Muhammad I., El Sayed K.A., Mossa J.S., Al-Said M.S., El-Feraly F.S., Clark A.M., Hufford C.D., Oh S., Mayer A.M.* Bioactive 12-oleanene triterpene and secotriterpene acids from Maytenus undata // Journal of natural products. 2000. Vol. 63. Iss. 5. PP. 605-615.
14. *Qi S.-S., Dong Y.-S., Zhao Y.-K., Xiu Z.-L.* Qualitative and Quantitative Analysis of Microbial Transformation of Steroidal Saponins in Dioscorea zingiberensis // Chromatographia. 2009. Vol. 69. PP. 865–870.
15. *Yamada Y., Nakamura A., Yamamoto K., Kikuzaki H.* Transformation of Glycyrrhizic Acid by Aspergillus spp. // Bioscience, Biotechnology and Biochemistry. 1994. Vol. 58. Issue 2. PP. 436-437.

05.16.00

А.М. Игнатова, О.Ю. Шешуков, В.Ф. Балакирев

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Механико-технологический факультет,
кафедра Сварочного производства и технологии конструкционных материалов,
ООО «Первоуральский завод горного оборудования»,
Институт металлургии УрО РАН.
Пермь, ignatovaanna2007@rambler.ru

АНАЛИЗ, ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СЫРЬЕВОГО И МАТЕРИАЛЬНОГО ПОТЕНЦИАЛА ТЕХНОГЕННЫХ ОБРАЗОВАНИЙ ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ ПРИ ИННОВАЦИОННОМ ПОДХОДЕ К ИХ УПРАВЛЕНИЮ И ПЕТРУРГИЧЕСКОМУ РЕЦИКЛИНГУ

В статье содержатся сведения по анализу перспектив в области переработки вторичных сырьевых материалов металлургии, новые методы переработки и сделаны выводы о принятие мер по развитию данной отрасли.

Ключевые слова: *Петургия, рециклинг, вторичная металлургия, каменное литье, силикатный расплав, минеральное сырье, техногенное сырье, доменный шлак*.

Техногенные образования неизбежная часть металлургического производственного процесса. В среднем в России для получения 1 т стали затрачивается до 10 т различных природных ресурсов и 19,3 ГДж энергии, для получения 1 т чугуна около 5-6 т ресурсов. Из образующихся техногенных образований 80-85% приходится на шлаки (доменный от предельного чугуна, сталеплавильный и т.д.), данные показатели в 1,5-3 раза выше, чем в развитых странах [1-4]. По данным [5] в 2004г. на отечественных металлургических предприятиях количество твердых техногенных образований превышает выпуск основной продукции в 6-7 раз. Выход доменного шлака на российских предприятиях превышает 300 кг/т чугуна и колеблется от 368 (ОАО «НТМК») до 472,6 (ОАО «КМК») кг/т чугуна, выход колошниковой пыли - 39-49 кг/т чугуна, вынос пыли из конвертеров - 25-28 кг/т стали, выход конвертерного шлака - 180-190 кг/т стали, количество прокатной окалины - 50-70 кг/т металлопроката [6-12].

Долгое время шлаки считались лишь отходами производства. И главной задачей заводов было их быстрое удаление в отвал. Академик И.П.Бардин [13] первым поставил вопрос о пересмотре взглядов на эту проблему, предложил отказаться от термина «отход», он писал: «Шлаки - это сотни миллионов рублей, это тысячи новых домов, это – база для дальнейшего расширения строительства». В трудах Академика И.П. Бардина отмечалось, что значительную ценность имеют шлаковые новообразованные расплавы, он указывал, на необходимость их переработки в литые, пористые и волоконные материалы, ссылаясь на уже имеющийся тогда зарубежный опыт. Кроме того, отмечается необходимость контроля и сортировки техногенных образований горно-металлургической отрасли. Однако, из-за отсутствия системы координации между научными и производственными организациями, часть разработок и предложений по системе управления не получили широкого распространения [13].

Анализ существующих научных и практических данных многократно доказывает негативное влияние техногенных образований горно-металлургических предприятий на его экономику и экологию [14-16]. В то же время, *сведения о полезности и перспективности техногенных образований*, об их материальном и энергетическом потенциале, имеют фрагментарный характер [17-21].

Из-за пренебрежительного отношения к техногенным образованиям увеличиваются экологические выплаты и стимулируется рост цен на сырье [22]. Проблемы старых накоплений остаются не решенными, их количество в отвалах, шламонакопителях, хвостохранилищах все еще велико и с каждым годом только растет [23].

В настоящее время, горно-металлургическая отрасль находится в поиске наиболее выгодного решения по переработке техногенных образований, но главное это ответить на вопрос «а стоит ли, овчинка выделки?». Действительно ли реорганизация и введение новых схем переработки может оправдать затрачиваемые на них финансовые вложения?

В настоящем исследование поставлена цель выполнить анализ и выделить проблемы использования сырьевого потенциала техногенных образований горно-металлургической отрасли, а так же, основываясь на этих данных, оценить перспективы и материальный потенциал техногенных образований при использовании инновационных методов управления и петрургических технологиях рециклинга. Иными словами дать ответ на вопрос «Стоит или не стоит менять подход к техногенным образованиям? И если стоит, то с чего начать?».

Крупнотоннажные вторичные продукты промышленности, которыми являются техногенные образования горно-металлургического комплекса, должны рассматриваться как *долговременный источник вторичного минерального сырья* для производства по экологически чистым технологиям альтернативных традиционным и существенно более эффективных композиционных малоклинкерных вяжущих, пористых и плотных заполнителей и бетонов новых модификаций на их основе (значительно — в разы, менее энергоемких и более экономичных). Комплексное применение техногенных образований в качестве сырья и изделия из них, кроме значительной экономии материалов и энергетических ресурсов, способствует сохранению природного минерального сырья при одновременном освобождении окружающей среды от негативного влияния отвалов.

Факторы сдерживающие развитие комплексного применения техногенных образований заключаются в следующем:

– отсутствует полный и единый порегиональный кадастр техногенных образований, потенциально эффективных для производства на их основе альтернативных традиционным материалов и изделий для строительной и других отраслей;

– отсутствует каталог разработанных и успешно апробированных в отдельных регионах приоритетных низкоэнергоемких и экологически чистых технологий переработки крупнотоннажных техногенных образований в альтернативные традиционным строительные материалы (или их компоненты) и изделия;

– нормативно-технические документы (ГОСТ, руководства, рекомендации, пособия и т.п.) по продуктам переработки крупнотоннажных техногенных отходов как из отвалов, так и, в первую очередь, текущего выхода (прежде всего, металлургических шлаков и шламов различных видов, зол и шлаков угольных ТЭС и ГРЭС) в строительные материалы (плотные и пористые заполнители, композиционные вяжущие, активные минеральные добавки-наполнители) являются морально устаревшими и требуют редакции с учетом новых достижений в области переработки техногенных образований;

– отсутствуют правила сертификации продуктов переработки техногенных образований, материалов и изделий на их основе;

– отсувуют законодательные акты, запрещающие разработку новых карьеров природных строительных материалов в регионах действия предприятий, образующих крупнотоннажные вторичные продукты промышленности, пригодные при соответствующей их переработке для применения в качестве альтернативных строительных материалов;

– отсутствие соответствующей налоговой политики, обеспечивающей заинтересованность индустриальных предприятий - производителей вторичного минерального сырья и его потребителей - предприятий переработчиков - в использование в качестве сырья техногенных образований.

Рециклинга на предприятиях, в настоящее время ограничиваются рядом существующих проблем, например:

- Популярным является ограниченное число технологий по рециклингу новообразованных огненно-жидких шлаков. В настоящее время, переработка жидких доменных шлаков, в основном, осуществляется на придоменных и отдельно расположенных грануляционных установках. Разработаны решения по совершенствованию этих технологий, повышению качества граншлака, снижению его влажности и серосодержащих выбросов [24]. На этом, пожалуй, и ограничиваются использование огненно-жидких новообразованных шлаков.

- Отвальные шлаки плохо поддаются переработке из-за своей неоднородности. В связи с общей достаточно невысокой долей переработки шлаков большая их часть свозится и складируется в отвалы. Шлаки в отвалах разнообразны по крупности - от глыб размерами с шлаковни, которыми их вывозят, до мелких кусков и пыли. С течением времени в силу как технологических, так и микрогеологических причин в шлакоотвалах происходят структурные изменения, а так же сами отходы претерпевают значительные изменения. К технологическим причинам [26] относятся изменения химического и фазового состава, а иногда и агрегатного состояния отхода в результате изменения сырья, технологических режимов или видов получаемых в данном производстве продуктов. К микрогеологическим процессам относятся процессы, происходящие в теле отвала в силу внутренних и внешних естественных причин. Термин «микрогеологические процессы» [27] не является общепринятым, однако, именно он отражает существо происходящих в теле отвала изменений. Отдельные компоненты шлака могут взаимодействовать с дождевой и талой водой, образуя новые соединения. За счет изменения объемной плотности вещества при таких процессах может происходить дифференциация частиц отвала по крупности. В результате этих процессов состав и свойства шлака изменяются и по высоте, и по простиранию отвала, что придает ему сходство с известными геологическими структурами.

Вышеназванные изменения приводят к необходимости непрерывного исследования свойств шлаков и наблюдения за шлаковыми отвалами. Вследствие структурных изменений, происходящих в теле отвала, возникают определенные сложности изъятия из отвалов шлаков для централизованной их переработки, даже если технологии их переработки хорошо известны.

Для переработки твердых доменных, сталеплавильных и ферросплавных шлаков текущего производства разработана и реализована технология первичной переработки с использованием термодробления [24].

Однако, при переработке твердых шлаков образуется мелкая фракция (порядка 10 мм), которая находит ограниченное применение в стройиндустрии из-за повышенного содержания металла и временно складируется. Этот вопрос актуален практически для всех предприятий, связанных с переработкой шлаков. Необходимо использовать технологические решения позволяющие, наряду с извлечением металла получить минеральную составляющую, пригодную для изготовления неметаллических материалов и изделий [25].

- Отсутствие законодательного стимулирования развития отрасли переработки техногенных образований и методик оценки финансово-инвестиционной привлекательности внедрения новых технологий рециклинга в производство. Суммарный расход ресурсов на 1 т чугуна колеблется от 3,8 до 4,3 т, следовательно, суммарные потери ресурсов в виде твердых и газообразных образований составляют 2,8-3,3 т/т чугуна, или 74-77% [28]. Мало того, что предприятие несет значительные затраты осуществление технологического процесса, а значит и на формирование техногенных образований, еще и государственная экологическая политика сводится к посылу «дай!», что не способствует стимулированию интереса к освоению новых технологических процессов, ведь это опять затраты. Как ни парадоксально, но сменив политику «дай!» на «возьми!» (например, экономическое стимулирование внедрения инновационных комплексных систем) возникает реальная возможность достигнуть желаемого экологического эффекта.

Вышеперечисленные проблемы, лишь малая часть из тех, которые существуют в сфере обращения с техногенными образованиями горно-металлургического производства, для их решения необходимо разработать стратегию решения и определить первоочередные этапы. В связи с этим, решением проблем должна стать разработка единой системы оценки и управления техногенными образованиями (рис. 1).

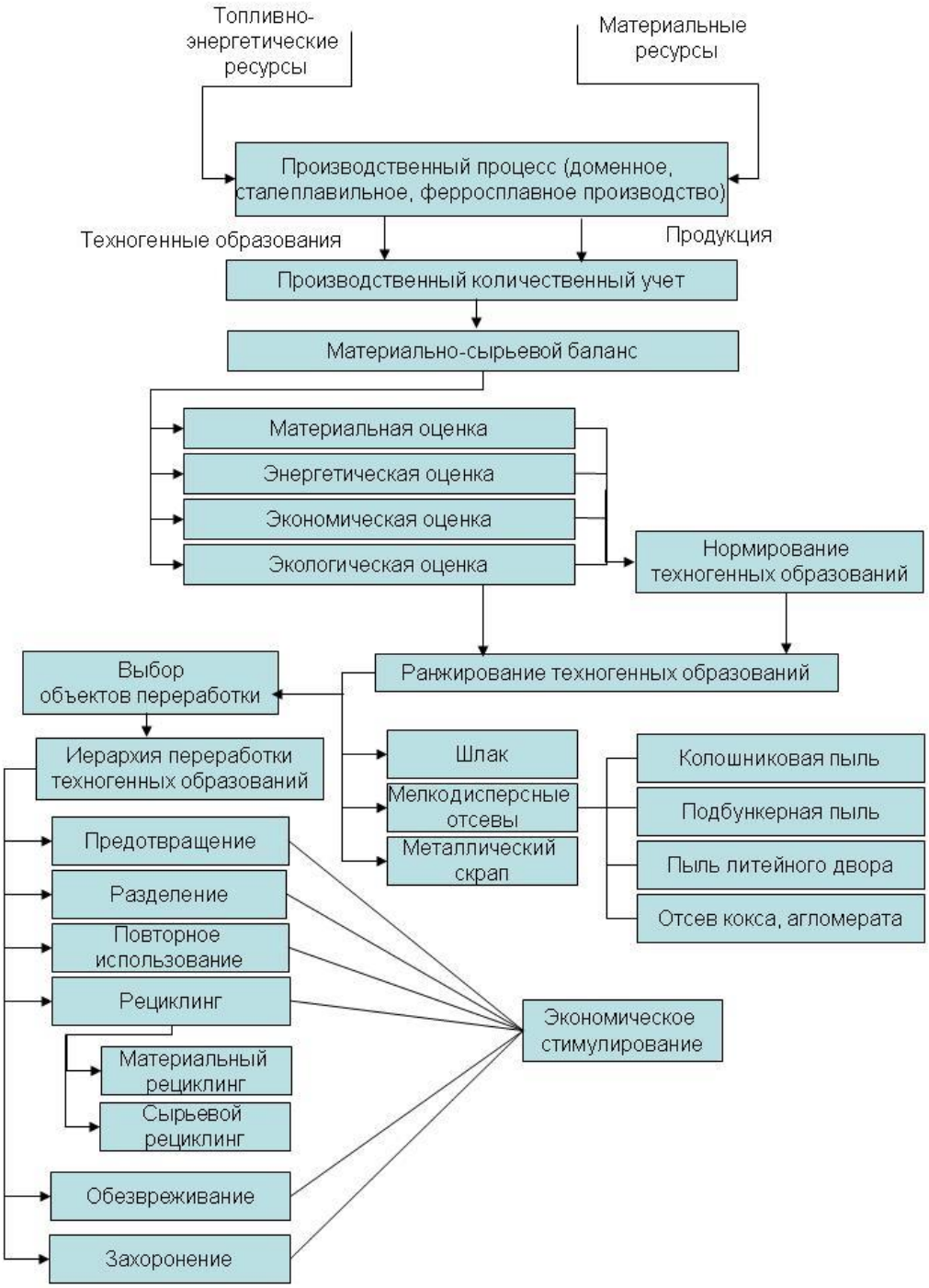


Рис. 1. Схема комплексной оценки и управления техногенными образованиями предприятий горно-металлургического комплекса

Очевидно, что разница между накопленными и текущими техногенными образованиями разительная. Разумеется, для них не может быть одинакового подхода, поэтому начальным этапом любой работы с техногенными образованиями является формирование информационной базы, включающего комплексную оценку каждого вида техногенных образований. Выделяют следующие критерии: материальный - информация о величине

потерь материально-сырьевых ресурсов с каждым видом техногенных образований; экономический - информация о финансовых потерях; энергетический - информация об энергетических потерях; экологический - информация о степени опасности каждого вида техногенных образований для природной среды.

Составленная информационная база служит основанием для разработки нормативов по количеству образования для каждого вида техногенных образований. В рамках системы управления техногенными образованиями нормативы их допустимого количества приобретают определяющее значение. В настоящее время под нормативами для техногенных образований понимаются показатели неизбежного количества, сопутствующего технологическому процессу, они призваны стимулировать снижение количества техногенных образований до минимального объема.

На основании результатов комплексной оценки техногенных образований и разработанных нормативов их допустимого объема формирования, производится их ранжирование по степени влияния на технико-экономические показатели и окружающую среду, то есть формируется база, позволяющая выбрать техногенные образования занявшие «первые места». Ранжирование техногенных образований производится по следующим показателям:

1) количество техногенных образований, или удельное образование на 1 тонну произведенной продукции;
2) содержание ценных для технологического процесса компонентов;
3) степень влияния на потери энергии технологического процесса;
4) величина затрат, связанных с образованием и удалением;
5) опасность техногенных образований для окружающей среды.

Затем в отношении каждого выбранного объекта техногенных образований выполняется действие по анализу возможных способов управления в соответствии с иерархией управления техногенными образованиями [29].

Иерархия управления техногенными образованиями - универсальная модель обращения с любым видом техногенных образований – представляет собой классификацию действий с ними по степени их приоритетности и построена на следующих принципах [27]:

1. **Предотвращение или минимизация техногенных образований в технологическом процессе** - достигается путем изменения качества сырьевых материалов и контролем за их составом, а так же изменением технологического регламента производственного процесса, совершенствованием организации управления производственным процессом или эксплуатации технологического агрегата.

2. **Разделение техногенных образований** - разделение потоков техногенных образований с различным содержанием полезных компонентов на концентрированные и бедные, разделения техногенных образований различного происхождения, химического состава и класса опасности и т.д.

3. **Вторичное использование** - осуществляется путем возврата в производственный процесс по месту формирования техногенных образований их же производителем, является эффективным методом снижения расхода природных ресурсов вследствие их частичной замены техногенными образованиями.

4. **Переработка техногенных образований в сырье или продукты (рециклинг)** - подразумевает производство из техногенных образований новых видов сырья или продукции. Различают материальный (механическое выделение без их химического изменения) и сырьевой (химическое разрушение и создание нового материала) рециклинг [30]. Распространению процессов рециклинга техногенных образований препятствует пока невысокое качество продукции на их основе и низкая стоимость альтернативных природных сырьевых материалов.

5. **Обезвреживание техногенных образований** - обеспечивает снижение степени опасности техногенных образований для окружающей среды.

6. **Захоронение техногенных образований** - является наименее предпочтительной альтернативой управления техногенными образованиями.

Выбранные в отношении каждого техногенного образования способы управления включаются в планы управления, которые могут разрабатываться по четырем направлениям: планы снижения образования, планы вторичного использования, планы рециклинга и планы размещения техногенных образований. Соответствующие планы управления реализуются с использованием механизмов экономического стимулирования.

Установлено, что одним из наиболее эффективных и экономичных способов применения шлаков является их использование для строительных отраслей, например, для сырья для разновидностей малоклинкерных или бесклинкерных вяжущих, получаемых по упрощенной низко-энергоемкой технологии с исключением технологического передела обжига сырьевой смеси при высоких температурах и с исключением автоклавной обработки [31]. Бесклинкерные и малоклинкерные шлаковые вяжущие в настоящее время применяются в качестве местных вяжущих. Такой статус определяется, в первую очередь, их большим разнообразием и нестабильностью свойств.

Систематизируя полученные сведения об использовании шлаков в производстве строительных заполнителей и вяжущих можно сказать, что самым изученным направлением использования шлаков является использование доменного гранулированного шлака [32-33]. Его переработка в различного рода вяжущие, в том числе в шлакопортландцемент или бесклинкерный цемент распространена в значительных масштабах и во многих странах.

Наиболее целесообразным использованием доменного отвального шлака признано получение из него путем дробления и сортировки, после предварительного обогащения, мелкого и крупного заполнителя, пригодного для использования в растворах и бетонах марок 200, 300 и выше. Помимо этого из доменного отвального шлака признано возможным получать вяжущее, используемое для бетонов [34].

На основании литературных данных о ферросплавных шлаках можно говорить как об очень специфическом сырье, пригодном для производства местных активированных вяжущих или сырье, способном являться добавкой в другие используемые местные вяжущие.

Анализ технологий переработки шлаковых техногенных образований указывает на то, что, в настоящее время, номенклатура возможностей по их использованию незначительна и ограничивается сферой сырьевых материалов для строительства.

Для расширения ассортимента и возможности получения конкретных изделий с полным циклом высокотехнологичной и малоотходной технологией перспективным является, например, петрургический рециклинг по двум направлениям: получение стеклообразных материалов и/или стеклокристаллических материалов и изделий из них (рис. 2). Здесь петрургический рециклинг предусматривает использование как твердых, так и огненно-жидких шлаковых техногенных образований.

Нестандартным решением для переработки огненно-жидких доменных шлаков является технология шлакокаменного литья, поскольку она позволяет перерабатывать большие объемы шлака с любой периодичностью образования и при этом не требует больших вложений на организацию производства, предполагает не только получение дробленого и гранулированного щебня, но и получения литых изделий и волокон. Шлаковые расплавы – та же лава, только искусственная [1], а значит, спектр продукции из него может быть так же широк, как и многообразие природных неметаллических минеральных полезных ископаемых. Литые изделия из шлаков гораздо более высокотехнологичные, чем привычный шлак или заполнитель строительных смесей. Шлакокамнелитые блоки могут использоваться для малоэтажного строительства, набирающего популярность в последнее время. Подобный опыт существовал и ранее [14], однако, малоэтажное строительство сменилось панельным, сейчас, когда строительство таун-хаусов набирает обороты, возврат к этой технологии вполне логичен.

Суть шлакокаменного литья заключается в том, что шлаковый расплав непосредственно после образования в огненно-жидком состояние заливается в формы, в результате чего получаются литые изделия, преимущественно крупногабаритные и простые по своей геометрии (брусчатка, дорожные блоки и т.д.). Технология, аналогична петрургической (камнелитейной) и включает следующие основные составляющие: металлургическая печь (например, доменная)→ шлаковый ковш → загрузочный ковш → форма→ печь для кристаллизации и отжига → склад готовой продукции. Однако, для изготовления некоторых изделий, таких как, например, дорожные плиты, из представленной выше цепочки, печь для кристаллизации и отжига исключается, а форма заменяется на литейный бассейн, таким образом основными составляющими являются: печь→ шлаковый ковш → загрузочный ковш → литейный бассейн (форма)→ склад готовой продукции [35-39].

Новообразованный огненно-жидкий шлаковый расплав, как и расплав из отвальных шлаков, может использоваться не только в чистом виде для изготовления литых изделий. На основе шлакового расплава с добавлением кристаллобразующих модификаторов могут быть получены термостойкие плиты, детали насосов, гидроциклонов и т.д., методом литья в металлические кокиля, песчаные и оболочковые формы, трубы и патрубки, полученные методом центробежного литья и т.д. (рис. 2). Расплав со стеклообразующими корректирующими добавками может подвергаться раздуву и вытягиванию, для получения штапельного и непрерывного волокна [39-48] (рис. 2). Новообразованный шлак (в виде расплава) может быть использован в полном объеме и в жидком состояние для получения различной продукции: литых плит 340 кг/т металлургической продукции, плавленых флюсов для производства сварочных материалов 300 кг/т, шлаковой ваты 2300 м^3/т, непрерывного волокна (требует дополнительных затрат) 500 м^3/т, пористого материала 250 м^3/т [38].

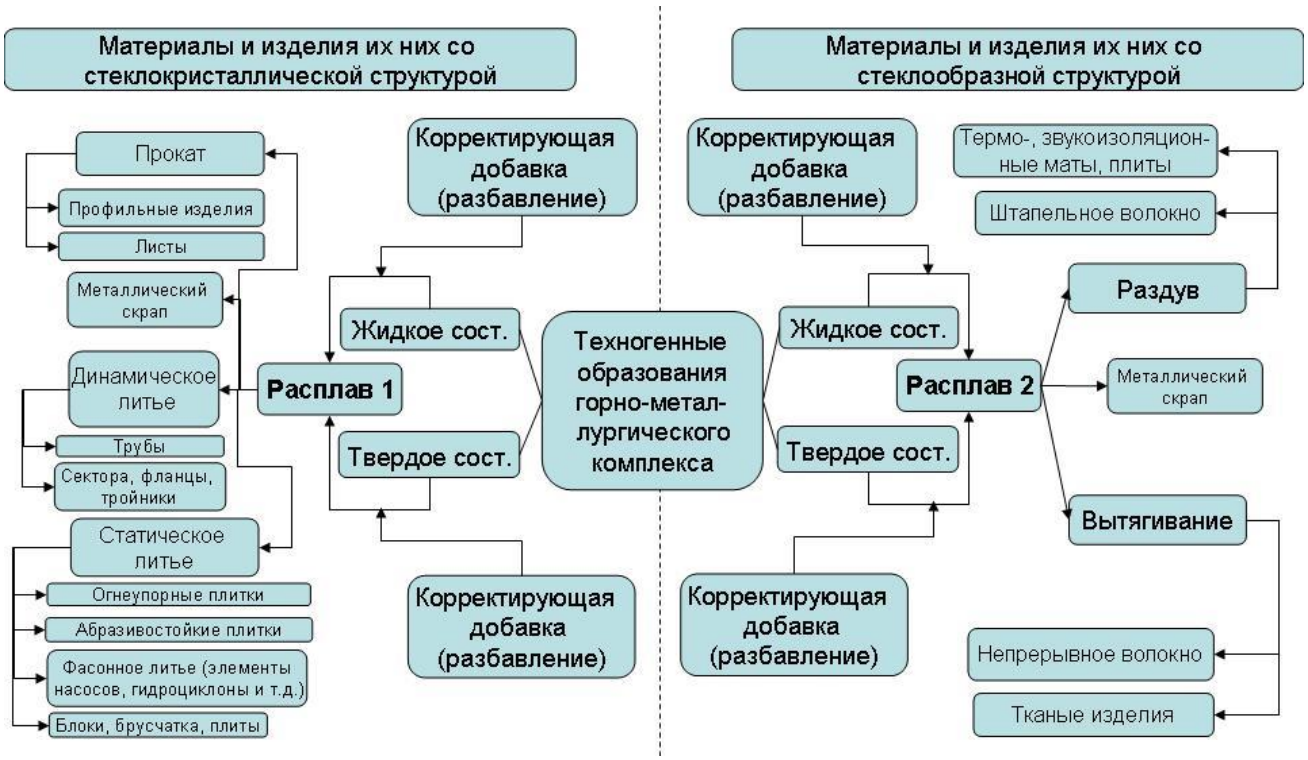


Рис. 2. Схема петрургического рециклинга техногенных образований горно-металлургического комплекса

Начальным этапом внедрения петрургических технологий на металлургическом предприятии должен стать контроль качества шлаков. Внимание металлургов должно быть приковано к шлакам с самого начала технологического процесса, то есть с момента подачи руды в печь и вплоть до выпуска. Для того чтобы обеспечить получение шлака однородного качества, необходимо регулировать подачу в доменную печь однородных шихтовых

материалов. Это — обязательное условие вообще всякого нормального доменного процесса. Иными словами обеспечить качество продукции из техногенных образований, можно контролируя состав и другие параметры шлаковых техногенных образований. Метод контроля состава шихтовых и шлаковых образований позволяет решить не только задачи, по их управлению и рециклингу петрургическими методами, но обеспечивает улучшение качества металлургической продукции, то есть одновременно решается две параллельные задачи горно-металлургического комплекса.

Разумеется, выбор и внедрение вышеперечисленных способов переработки техногенных образований требует определенных инвестиционных вложений оценить эффективность которых возможно при использование соответствующих методик расчета [26-29, 38].

Впервые метод выбора *«Наилучших доступных технологий без чрезмерных затрат»* (Best available techniques not entailing excessive costs (BATNEEC) был сформулирован в Директиве Рабочей группы по атмосферному воздуху (Air Framework Directive (AFD) в 1984 г. и относился к выбросам загрязняющих веществ в атмосферный воздух от крупных промышленных предприятий. В 1996 г. данный принцип был переосмыслен и изложен в Директиве по Комплексному предупреждению и контролю загрязнений (IPPC), 96/61/EC, и рассматривал вопросы применения наилучших существующих технологий в отношении трех компонентов окружающей среды — атмосферного воздуха, водных объектов и почв.

Дословный перевод «best available techniques» — «наилучшие доступные технологии и практики», однако в Российском природоохранном законодательстве используется термин «наилучшие существующие технологии», что в корне меняет смысл всей нормы.

Стоит отметить, что в странах Евросоюза такая работа ведется с 90-х годов XX столетия, однако в России этот процесс только запущен, причем уже имеет ряд сложностей в реализации.

В 2000 г. Япония первой в мире провозгласила себя страной с «рециркуляционной» экономикой. Был принят ряд законов, направленных на максимальное использование вторичных ресурсов и техногенных образований. Принцип «3R» сегодня знает каждый японский первоклассник: это «Recycling» (использование в качестве вторичных ресурсов), «Reuse» (повторное использование) и «Recovery» (восстановление вторичных материалов). Однако, подобные, причем очень строгие, законы о порядке переработки вторичных ресурсов существовали во всех великих империях Древнего мира: в Ассирии, Китае, Египте, Риме. Даже использование технологий того времени позволяло с успехом воплощать принцип «3R» в древней цветной металлургии [50].

Ниша экологически ориентированных инноваций на российском рынке сейчас достаточно свободна и является перспективной отраслью развития научного знания. Современные потребности промышленного комплекса включают в себя малоотходные и высокоэффективные технологии производства так же, как и новые технологии по утилизации и рециклированию техногенных образований производственных процессов.

Важнейшей составляющей методологии оценки эколого-экономической эффективности реализации эндоэкологического инвестиционного проекта, направляемого на использование техногенных образований, по нашему мнению, является формирование алгоритма проведения необходимых расчетов и разработка конкретной методики их осуществления. Известен алгоритм [51] и общие модели определения интегральных значений суммы затрат, величины результата и размера эколого-экономического чистого текущего дохода, образующихся вследствие реализации инвестиционных проектов по использованию техногенных образований и служащих базой для расчета системы показателей, оценивающих эффективность таких проектов.

Таким образом, в результате анализа выявлена полезность техногенных образований горно-металлургического комплекса, доказана их перспективность *в качестве сырья не только для производства дробленого и гранулированного щебня, но и для при производства материалов и изделий широкого спектра использования с стеклокристаллической и стеклообразной структурой*, по экологически чистым петрургическим технологиям

альтернативных традиционным и существенно более эффективных. Доказана необходимость создания кадастра техногенных образований, потенциально эффективных для петрургического и других видов рециклинга, а так же каталога разработанных и успешно апробированных в отдельных регионах приоритетных низкоэнергоемких и экологически чистых технологий переработки техногенных образований в альтернативные традиционным материалы. Показана необходимость в разработке новых нормативных документов в сфере оценки и обращения с техногенными образованиями и соответствующей налоговой политики, обеспечивающей заинтересованность индустриальных предприятий - производителей вторичного минерального сырья и его потребителей - предприятий стройиндустрии - в переработке техногенных образований в эффективные, конкурентоспособные строительные материалы и изделия.

Для внедрения технологий переработки техногенных образований горно-металлургического комплекса с адаптацией их к условиям регионов необходимо создать экологический фонд из средств, получаемых за счет платы за землю, занимаемую отвалами этих отходов, а также за транспортирование отходов в отвалы и содержание последних.

Наиболее важный и всеобъемлющий вывод заключается в том, что техногенный образования это не обуза, не недостаток, а преимущество, поскольку это базис для создания нового промышленного производства, а большие и стабильные объемы образования это в данном случае положительное качество.

В США для информации и координирования исследований в области переработки и использовании металлургических шлаков была создана Национальная шлаковая ассоциация, которая решает актуальные вопросы переработки шлаков. Научно-исследовательские металлургические институты Англии (БИСРА) и Франции (ИРСИД) занимаются вопросами переработки и использования шлаков черной металлургии. В ФРГ в 1954 г. на средства 15 металлургических предприятий организован Союз по доменным шлакам, который решает проблему использования шлаков в стране. Вопросами переработки и использования шлаков черной металлургии занимаются: в Венгрии – Институт строительства, в Чехии Институт по обогащению руд, в Китайской Народной Республике так же существуют аналогичные организации.

В январе 2008 г. на заседание совета безопасности Российской Федерации по вопросам экологии было принято решение создать в стране новую отрасль индустрии – отходоперерабатывающую.

Для обеспечения данной отрасли научно-технической базой, а так же для мониторинга, координации, разработки и внедрения технологий рециклинга для конкурентных разновидностей техногенных образований, в зависимости от объема их формирования и масштабов хранения в России, по аналогии со странами с развитым производством, должен быть создан центр инжиниринга. Его организация возможна на базе Института Металлургии УрО РАН, в котором наряду с другими направлениями отходоперерабатывающей отрасли следует отдельно развиваться направлении петрургического рециклинга.

Список литературы

1. Координация научно исследовательских работ в черной металлургии//Правда, 4, IV, 1959, №94.
2. Проблемы экологии и утилизации техногенного сырья в металлургическом производстве [Текст] / Ю.С. Карабасов [и др.]. - М. : Металлург, 2004. - С. 27 - 33.
3. Анализ затрат материалов и технологического топлива при производстве чугуна, стали и проката на предприятиях черной металлургии за 1 квартал 2006 года [Текст] // ООО ≪Корпорация ЧЕРМЕТ≫.- М., 2006 - май.
4. *Казанцева Л.К.* Современная экологическая ситуация в России [Текст] /Л.К. Казанцева, Т.О. Тагаева // ЭКО. - 2005. - № 9. - С. 30-44.
5. Производство, экономика и маркетинг в черной металлургии. Информационно-аналитический обзор [Текст] / 000 ≪Корпорация производителей черных металлов≫.- Вып. 3 (169). - М., 2006. - март.
6. Технико-экономические показатели работы печей и агрегатов предприятий черной металлургии России в 2000 году [Текст] / Корпорация ≪Чермет≫.- М., 2000.
7. *Нанищев Н.В.* Методика контроля потерь железа с неулавливаемыми продуктами доменной плавки / Н.В. Нанищев, Р.С. Тахаутдинов, М.Ф. Гибадулин // Металлург. - 2002. - № 1. - С. 46 - 47.
8. *Юзов О.В.* Эффективность охраны атмосферы от выбросов сталеплавильного производства [Текст] / О.В. Юзов, Н.А. Харитонова, В.С Гурьев.- М.: Металлургия, 1987.- 101 с.
9. Производство, экономика и маркетинг в черной металлургии. Информационно-аналитический обзор [Текст] / 000 ≪Корпорация производителей черных металлов≫.- Вып. 3 (169). - М., 2006. - март.
10. *Будников Б.О.* Немецкий опыт и российская реальность [Текст] / Б.О.Будников, О.А. Будникова // Packing international / Пакет. - 2005. - *№.* 10. - С 6- 8.
11. *Костенко Т.Н.* Термодинамически объективная оценка эффективности процессов [Текст] / Г.Н. Костенко // Промышленная энергетик. - 1983. - Том 5. -№ 4.-С. 70-75.
12. *Grosspietsch K.-H.* BAT on the blast furnace - stock - tacking of current environmental protection technology at blast furnaces [Текст] / K.-H. Grosspietsch, H.B. Lungen, W. Theobald // Ironmaking Conference Proceedings, - 2001. - С. 115- 127.
13. *Бардин И.П.* Шлаки - ценнейший материал «Строительная газета» 7.10.1955г.
14. *Чернов В.П., Бахметьев В.В.* Применение отходов промышленного производства для получения литых изделий: Монография. Магнитогорск: МГТУ, 2002.-161 с.
15. Лучшие имеющиеся технические средства в черной металлургии (по материалам справочника, представленного TACIS). Приложение № 5 к Бюллетеню ≪Черная металлургия≫, 2001.
16. *Бобович Б.Б.* Переработка отходов производства и потребления : справочное издание [Текст] / Б.Б. Бобович, В.В. Девяткин; под ред. Б.Б. Бобовича. - М.: Интермет инжиниринг, 2000. - 496 с.
17. *Игнатова А.М., Игнатов М.Н.* Материал на основе синтетических минеральных сплавов для цветных дорожных покрытий// Архитектура и строительство России. - 2011. № 7. - С. 10-17.
18. *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. - 2013. № 1. - С. 46-50.
19. *Игнатова А.М., Чернов В.П., Ханов А.М.* Технология шлакокаменного литья как метод обеспечения энерго- и ресурсоэффективности в черной металлургии. – Сб. трудов НТК «Образование и наука - производству». – ч.1, кн. 3. – Набережные Челны: КамГИЭА, 2010. – с. 57-60.

20. *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. - 2009. Т. 2. № 3. - С. 32-36.
21. *Игнатова А.М., Игнатов М.Н., Ханов А.М.* Комплексная переработка основных и ультраосновных неметаллических полезных ископаемых и техногенных отходов методом получения на их основе синтетических минеральных сплавов// В сборнике: Синтез знаний в естественных науках. Рудник будущего: проекты, технологии, оборудование. - 2011. - С. 401-405.
22. *Флейшандерл А.* Обращение отходов в прибыль [Текст] / А. Флейшандерл, Дж. Песл, Ф. Соерт // Новости черной металлургии за рубежом. - 2002. - №2 2. -С.3 - 6.
23. Вторичные материальные ресурсы черной металлургии : справочник. - М.: Экономика, 1986. - 344 с.
24. Утилизация пыл ей и шламов в черной металлургии [Текст] / Тол очко А.И. [и др.].- М.: Металлургия, 1990.-143 с.
25. Защита атмосферы от промышленных загрязнений [Текст]: справочник. Ч. 2 / под ред. С.И. Калверта, Г.М. Ингленда. - М.: Металлургия, 1988. - 760 с.
26. *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.
27. *Баталин Б.С.* Хранилища отходов как антропогенные месторождения полезных ископаемых В сб, трудов Международной конференции «Промышленность, технология, экология», М.: 1998, 30-34с,
28. *Макарова Д.Н., Волкова М.В.* Инновационный подход к управлению утилизацией парниковых газов//Тр. Междунар. конгресса «ТЕХНОГЕН-2012». – Екатеринбург, 2012. – с. 474 – 477.
29. *Игнатова А.М.* Синтетические минеральные сплавы, полученные каменным литьем– материал настоящего и будущего// Базальтовые технологии. - 2012. Т. 1. № 1. - С. 46-50.
30. *Белоцерковский А.М.* Завод работает без отходов. - М.: Знание, 1964. – 87 с.
31. *Пухальский Г.В.* Из практики использования доменных отвальных шлаков// «Строительная промышленность». – 1950, №11. – с. 34-38.
32. *Пухальский Г.В.* Отвальные доменные шлаки в бетоне и железобетоне. - М.: ТЭКСО № 407/17. – 1951. - 154 с.
33. *Пухальский Г.В.* Доменные отвальные шлаки в строительном производстве Сб. «Доменные шлаки в строительстве» (труды совещания по комплексному использованию доменных шлаков в строительстве). – К: Госстройиздат, УССР. - 1956. – 567 с.
34. *Пухальский, Г.В., Доляновский В.К.* Из опыта применения доменных отвальных шлаков в строительстве // «Строительная промышленность». - 1957, №3. - с. 123-132.
35. *Вагин В.В., Пирогов Е.И.* Использование чугунолитейных цехов для производства фасонного литья// Литейное производство. – 1960. - № 12.
36. *Хан Б.Х., Быков И.И.* Производство и применение каменного литья.- Киев: ИТИ, 1968.- 41 с.
37. *Кудрин В.А.* Теория и технология производства стали [Текст]. - М. : Мир, 2003.-528 с.
38. *Игнатова А.М.* Изделия для дорожного строительства из шлакокаменного литья и технология их изготовления. -Материалы конференции «Строительная наука -2010». - Владимир, 2009. -с. 67-71.
39. *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.

40. *Игнатова А.М., Попов В.Л., Антонов Ю.Б., Вагин В.В., Игнатов М.Н., Чернов В.П., Ханов А.М.* Рациональные направления использования камнелитых изделий из синтетических минеральных сплавов в строительстве// Известия высших учебных заведений. «Строительство». – 2011. - №8-9.
41. *Игнатова А.М., Игнатов М.Н.* Дизайн художественных камнелитых изделий. Материаловедческие основы применения синтетических минеральных сплавов (симиналов) в дизайне. - Изд-во LAP LAMBER (Германия). - 2012.- 218 с.
42. Игнатова А.М., Игнатов М.Н. Взаимосвязь структуры и цвета камнелитых материалов на основе горных пород и техногенных отходов (статья на англ. языке)// Polymers research journal, Volume 5 Issue 1, *2011*.
43. *Игнатова А.М., Игнатов М.Н, Чикулаева Е.В.* Взаимосвязь структуры и цветности камнелитых материалов, полученных на основе минерального нерудного и техногенного сырья// Вестник Пермского государственного университета. Серия «Геология». – 2012. - №1.
44. *Игнатова А.М., Игнатов М.Н.* Взаимосвязь структуры и цветности камнелитых материалов, полученных на основе минерального нерудного и техногенного сырья// Фундаментальные исследования. – 2012. - №6 (часть 2).
45. *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.
46. *Артемов А.О., Наумов С.В., Игнатова А.М.* Минералого-петрографическая характеристика техногенных минеральных ресурсов Урала и Предуралья для их переработки петрургией//Георесурсы .- №6, 2012. - 19-23 с.
47. *Игнатова А.М., Черных М.М., Чикулаева Е.В., Попов В.Л.* Цветное шлакокаменное литье и шихта для его получения. Патент № 2465237.
48. *Игнатова А.М.* Исследование и разработка схемы абразивного изнашивания поверхности синтетических минеральных сплавов склерометрическими измерениями// Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. 2010. Т. 15. № 3-2. С. 1203-1207.
49. *Майер Г.* Переработка пыли и шлама из газоочисток доменных и конвертерных цехов во вращающейся печи [Текст] / Г. Майер, К.-Г. Фопель, В. Янссен // Черные металлы. -1990. - № 5. - С. 3 - 7.
50. *Горшков В.С., Александров С.Е., Иващенко СИ., Горшкова И.В.* Комплексная переработка и использование металлургических шлаков в строительстве -М.: Стройиздат, 1985 г. – 272 с.
51. *Богданов С.В., Корнилаев С.М., Черных В.О., Герасимов А.С.* Аксиоматический подход к оценке эффективности реализации венчурных металлургических проектов. //Электрометаллургия. 2009. № 11. С. 41-46. (1 п.л., лично автору – 0,55 п.л.)/
52. *Вывaрец К.А., Златковский А.В.* Совершенствование методики оценки эколого-экономической оценки инвестиционных проектов по использованию промышленных отходов// Тр. Междунар. конгресса «ТЕХНОГЕН-2012». – Екатеринбург, 2012. – с. 547-551.

05.16.00

А.М. Игнатова, О.Ю. Шешуков, В.Ф. Балакирев

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Механико-технологический факультет,
кафедра Сварочного производства и технологии конструкционных материалов,
ООО «Первоуральский завод горного оборудования»,
Институт металлургии УрО РАН,
Пермь, ignatovaanna2007@rambler.ru

СИСТЕМАТИЗАЦИЯ И КЛАССИФИКАЦИЯ ТЕХНОГЕННЫХ ОБРАЗОВАНИЙ УРАЛЬСКОГО ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА С ПОЗИЦИЙ ИХ ПЕТРУРГИЧЕСКОГО РЕЦИКЛИНГА

Представлены сведения о номенклатуре техногенных образований Уральской горно-металлургической промышленности и дополнение их классификации с точки зрения их химического и минералогического составов позволяют в высшей степени положительно оценить перспективность использования петрургических методов рециклинга для экономического и производственного развития предприятий.

Ключевые слова: *Петрургия, рециклинг, вторичная металлургия, каменное литье, силикатный расплав, минеральное сырье, техногенное сырье, доменный шлак, сталеплавильный шлак, базальт.*

Для предприятий Уральской горной и металлургической промышленности уровень вовлеченности техногенных образований и некондиционных природных образований в процесс рециклинга оказывает положительное влияние не только на экономическую эффективность деятельности предприятия, но и на экологическую обстановку [1-6].

Практика показывает, что наиболее широко и эффективно техногенные образования горно-металлургического комплекса могут быть применены в производстве материалов и готовых изделий для дорожного, промышленного и гражданского строительства, а так же непрерывного и расщепленного волокна, огнеупоров, футеровочных и других литых изделий со специальными свойствами [7]. Однако, доля используемых техногенных образований в этом направление незначительна и составляет в среднем 30-40% от количества новообразующихся техногенных образований, а доля техногенных образований из отвалов, вовлеченных в рециклинг гораздо ниже и не превышает 8-10%. Суммарные убытки предприятий связанные с техногенными образованиями составляют 8-10% от себестоимости основной продукции [8].

Одной из причин недостаточного уровня использования техногенных образований горно-металлургического комплекса является низкая вовлеченность их к петрургическому рециклингу, которая объясняется отсутствием систематизации и классификации техногенных образований по критериям петрургического свойства. В связи с этим рассмотрение техногенных образований горнометаллургического комплекса с точки зрения их петрургического рециклинга является актуальной задачей.

Целью настоящей работы является систематизация сведений о номенклатуре техногенных образований горно-металлургического комплекса и дополнение их классификации с точки зрения их химического и минералогического составов, то есть с позиции пригодности их к петрургическому рециклингу.

В настоящее время приняты следующие основные классификации техногенных образований: химическая; по отрасли промышленности и виду производства, где сформировались техногенные образования; по коэффициенту насыщения; по агрегатному

состоянию; по назначению использования техногенных образований; по материалоемкости производства; по топливоемкости и электроемкости, изготавливаемой продукции и т.д. [9].

Основные параметры, характеризующие техногенные образования горно-металлургического комплекса: химико-минералогический состав, агрегатное состояние и объем образования. Для выбора направления использования, каждый вид промышленного техногенного образования должен пройти несколько уровней оценки по различным критериям [10]:

- токсичность;
- химико-минералогический состав;
- готовность к использованию для дальнейшего рециклинга;
- агрегатное состояние;
- объем образования.

После такой многоуровневой оценки техногенное образование приобретает определенный статус.

Несмотря на существующие критерии оценки и ранжирования техногенных образований, их единая классификация в горно-металлургическом комплексе отсутствует.

И все-таки техногенные образования могут быть связаны в единую классификацию по тому на каком этапе они были сформированы (рис. 1) с учетом агрегатного состояния и степенью изменённости (рис. 2).

Рис. 1. Классификация техногенных образований по месту формирования

Из всех возможных разновидностей техногенных образований, формирующихся на предприятиях Пермского края, в качестве техногенного сырья могут использоваться: пустая порода, накапливаемая в терриконах горно-обогатительных предприятий, металлургические шлаки и твердые зольные техногенные образования топливных электростанций. Нами выделено пять техногенных источников сырья пригодных для использования в качестве петрургического [11-13].

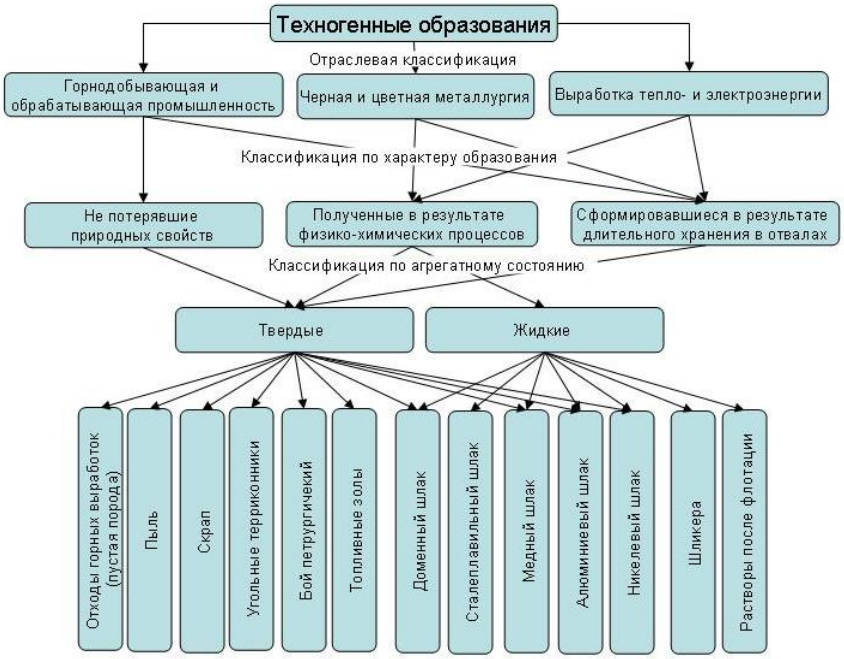


Рис. 2. Классификация техногенных образований
с учетом агрегатного состояния и степенью измененности

Техногенные образования, это не только шлаки, но и природные минеральные образования. Из тех горных пород, которые присутствуют в Пермском крае, этому требованию соответствуют породы габброидной и базальтоидной группы, их классификация представлена в табл. 1. [14-15]. Месторождения данных пород расположены на западе, в восточной и северо-восточной части края. Выделяется несколько характерных комплексов месторождений: Щегровитская свита, Дворецкий комплекс, Сарановский комплекс, Журавликский комплекс, Усьвинский комплекс [16]. Перечень разновидности пород, содержащих в каждом из комплексов, указан в табл. 2, а их химический состав в табл. 3 и 4 [17].

На Урале в Свердловской области имеются запасы габбро-горнблендитов [19], в Башкирии – диабазов и диабазовых порфиритов. В Оренбургской области находится крупное Круторожинское месторождение диабазов, в Пермском Крае Ломовское месторождение (табл. 3).

Анализ горных пород, опытно-промышленные испытания показывают, что оптимальными по химическому и минералогическим составам являются горные породы, которые характеризуются однородностью, от мелко- и среднезернистой структуры и не содержащие тугоплавких включений – кварцевых жил, миндалин.

Таблица 1

Классификация габброидной и базальтоидной групп горных пород [17]

Габброидные и базальтоидные породы

Габброиды:	Базальтоиды:
Габбро	базальт
габбро-амфиболит	андезито-базальт
габбро-анортозит	трахибазальт
габбро-диабаз	трахи-андезито-базальт
габбро-диорит	трахит
габбро-норит	(вулканиты I, II фазы)
габбро-сиенит	
Монцогаббро	

Таблица 2

Месторождения базальтоидов и габброидов Пермского края [18]

Щегровит-ская свита:	**Дворецкий комплекс:**	**Сарановский комплекс:**	**Журавливский комплекс:**	**Усьвинский комплекс:**
Базальт, андезито-базальт, трахи-базальт, трахи-андези-базальт, трахи-андезит, латит, трахит, трахи-риодацит	Пикрит, трахи-базальт, оливиновый гиаломела-нефелинит, гиаломела-нефелинит, щелочной базальт гиаломела-фонолит	Бронзитовые дуниты, дунит-гарцбургиты, хромититы, анортозиты, пироксениты, анортозиты, габбро-диабазы	Монцогаббро, пироксениты, горнблендиты	Габбро-долериты трахи-долериты габбро-долериты трахидо-лериты

Горные породы по происхождению классифицируются на изверженные, или магматические, осадочные и водоизмененные, или метаморфические [20-21].

Базальты (диабазы, амфиболиты, габбро) относятся к основным магматическим породам, имеющие окраску от светло-серой до черной. Все базальты в зависимости от содержания SiO_2 делятся на следующие группы: основные (SiO_2<43%), нейтральные или средние (SiO_2=43-46%), кислые (SiO_2>46%).

Таблица 3

Химический состав некоторых горных пород Урала

Порода, Месторождение	Содержание, мас. %											
	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	FeO	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	MnO	SO_3	п.п.п.
Габбро-горнбендит, Первоуральск	39,1-42,5	0,6-1,2	15,5-20,4	7,7-8,3	3,7-6,1	11,6-13,1	7,8-13,4	0,7-2,2	0,8-1,2	0,2-0,4	0,0-0,6	1,6-4,5
Диабаз, Учалинское	49,1	2,5	15,0	5,7	4,9	8,4	8,0	1,8	2,9	0,3	0,2	2,1
Диабаз, Сибайское	56,6	1,0	13,2	6,6	2,7	4,9	4,7	4,2	-	0,4	1,5	4,0
Диабаз, Круторожское	50,0-51,4	1,7-2,0	12,6-13,4	7,4-8,4	3,5-5,8	5,1-6,9	5,5-6,0	2,4-4,5	0,5-3,1	0,3-0,4	0,8-1,3	3,9-4,0
Диабазы, Гайское	48,8	0,5	17,1	8,1	1,7	8,9	7,7	1,1		0,2	0,2	6,5
Диабазы, Ломовское	46,5	3,0	13,3	15,8		8,3	4,2	2,5	1,1	0,1	0,2	5,0

Таблица 4

Химический состав минеральных петрургических сырьевых ресурсов Пермского края

Место-рождение	Содержание, мас. %														
	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	п.п.п.	CO_2	H_2O	S
Щегро-витская свита	45,0-56,0	2,5-3,0	11,8-13,2	8,5-9,8	1,8-4,7	0,2-1,3	1,0-3,5	4,5-6,0	2,0-3,0	1,3-3,2	0,1-0,2	1,7-3,9	0,5-2,1	0,0-2,2	0,01-0,06
Дворецкий комплекс	41,0-46,5	2,5-4,0	12,1-13,9	4,5-7,0	4,7-8,0	0,1-0,2	4.3-7,0	3,8-8,9	2,5-6,0	1,2-4,0	0,2-0,3	3,0-4,5	0,5-1,0	0,0-0,8	0,0-0,02
Сарано-вский комплекс	36,0-47,0	0,0-0,2	5,0-15,0	2,0-6,3	5,3-8,4	0,1-0,2	15,6-19,7	4,6-7,9	0,1-1,5	0,1-0,9	0,0-0,1	3,0-8,3	0,0-1,0	4,5-8,3	0,0-0,01
Жура-вликский комплекс	45,5-55,8	0,6-3,5	11,6-16,5	2,0-11,6	4,1-13,8	0,05-0,2	3,7-9,3	1,4-12,3	0,6-4,4	0,1-4,4	0,08-1,6	1,6-6,0	0,0-0,7	4,0-8,5	0,0
Усьвин-ский комплекс	45,1-50,6	0,7-4,0	12,7-18,0	1,6-9,3	3,2-10,2	0,1-0,3	4,1-8,8	0,9-12,9	1,4-4,1	0,1-1,4	0,06-0,6	1,7-6,0	0,02-0,6	0,04-4,7	0,005-0,1

По своей структуре базальты разнообразны: от полнокристаллических и даже сравнительно крупнозернистых до стекловидных.

Из всех магматических горных пород базальты являются наиболее распространенными.

Минералогический состав базальтов характерен наличием плагиоклазов типа лабрадора. Кроме того имеется авгит, магнетит и оливин, чаще всего в виде вкраплений. Второстепенными минералами является ортоклаз, нефелин и лейцит, например, диабаз Круторожинсокго месторождения Оренбургской области содержит (% мас): плагиоклаз 45-50, пироксен 15, рудный минерал 5, хромит 35, кварц 1-2.

Базальты исследованных месторождений отличаются друг от друга по химическому составу, а следовательно, и по модулю кислотности.

Диабазы по химическому составу богаты диоксидом кремния, содержание которого колеблется от 40 до 45% [22]. Коэффициент кислотности базальтов в среднем 1,65. Средний химический состав следующий (% мас): SiO_2 -48,78; TiO_2 -1,3; Al_2O_3 -15,85; Fe_2O_3 -5,37; FeO -6,34; MnO -0,29; MgO – 6,03; CaO – 8,91; Na_2O - 3,18; K_2O – 1,63; R_2O_5 - 0,47; H_2O – 1,86. Диабазы от базальтов отличаются главным образом возрастной формой залегания и структурой. Диабазы относятся к более древним изверженным породам. В связи с этим в диабазах имеется накопление вторичных минералов хлорита и эпидота, сообщающих диабазам зеленоватый оттенок [23]. Диабаз представляет собой среднезернистую или тонкозернистую породу, состоящую из таблетчатых кристаллов лабрадора, редко идиоморфных, промежутки между которыми заполнены ангитом; второстепенные составные части — магнетит, титанистый железняк, апатит; присутствует много вторичных минералов [24].

Типичными представителями диабазов являются (табл. 4) Учалинское, Сибайское, Круторожинское и Ломовское месторождения.

Плагиоклаз представлен в основной массе породы в виде таблитчатых зерен (лейст) размером 0,1х0,04 мм и в порфировых выделениях размером 0,8х0,09 мм. Расположение лейст плагиоклаза беспорядочное. Плагиоклаз представлен лабрадором — это изоморфная смесь альбита $NaAlSi_3O_8$ с анортитом $CaAl_2Si_2O_8$; содержание последнего в лабрадоре составляет 50-70 %. Плагиоклаз присутствует в виде ксеноморфных зерен в основной массе. В этом случае он как бы кристаллизуется в промежутках между идиоморфными зернами авгита, не имеет четких границ и четкого двойникования. Встречаются отдельные ксеноморфные зерна плагиоклаза с четкими широкими полисинтетическими двойниками. Такие зерна в качестве включений содержат пироксен.

Пироксен моноклинный $R_2(Si_2O_6)$ присутствует в основной массе в виде изоморфных зерен размером 0,04-0,08 мм. В порфировых выделениях отдельные зерна пироксена достигают размеров 0,3х0,1 мм. Пироксен окрашен в буроватый цвет, плеохроизм не наблюдается. Из приведенных данных следует, что пироксен представлен авгитом.

Магнетит присутствует в виде шестоватых и кубического габитуса зерен, а также в виде зерен неправильной формы. Размер зерен изменяется от 0,008 до 0,3 мм.

Оливин $(MgFe)_2SiO_4$ встречается лишь в виде вкрапленных округлых зерен размером от 0,1 до 0,5 мм. Оливин слегка изменен, по трещинам и вокруг зерен видны красноватые образования идингстита, в качестве включений содержит зерна магнетита.

Горнблендит — интрузивная магматическая ультраосновная порода. Наибольший практический интерес представляют горнблендит в виде отходов обогащения железных руд Первоуральском месторождения Свердловской области. Химический состав горнблендита следующий: 35,0—41,0% SiO_2; 13,5— 16,5% $A1_2O_3$; 7,0—14,0%.Fe_2O_3; 4,3—7,0% FeO; 9,0— 13,3% CaO; 9,0—14,3% MgO; 1,0—2,0% TiO_2; до 2,0% Na_2O + K_2O. Из минералов горнблендит содержит до 85% роговой обманки и незначительное количество полевых шпатов, оливина и д.р.

Отходы мокрой магнитной сепарации титаномагнетитовых руд Качканарокого рудного поля представлены в основном кпинопироксенами (разностями диопсида) - их содержание составляет 42-74 %. В меньшем количестве присутствуют (%, мас.): плагиоклазы - 7-25 , минералы группы эпидота (в том числе цоизит и клиноцоизит) 5-15, амфиболы (обыкновенная роговая обманка и в меньшем количестве актинолит) - 2-15, титаномагнетит - 1-2, оливин 1 и др. Обычно доли процента составляют содержания хлоритов, сульфидов, гранатов, апатитов, ильменита, очень мало биотита, шпинелей.

Химический состав дробленого материала хвостов мокрой магнитной сепарации довольно однообразный несмотря на заметное различие их минерального состава (табл. 5 и 6). Преобладающими компонентами являются кремнезем, оксиды кальция, магния, железа и глинозем, на долю которых приходится более 95 % минеральной массы. Расчет величин модуля кислотности по данным химического анализа дает значения порядка 1,4-1,6. Они явно недостаточны для того, чтобы рекомендовать хвосты мокрой магнитной сепарации предприятия в качестве сырья, например, для получения качественного базальтового волокна.

Металлургические шлаки. По составу металлургические шлаки представляют собой комплекс синтетических силикатных минералов, поэтому многие из них можно сравнивать с изверженными горными породами и применять в качестве петрургического сырья.

По химическому составу шлаки условно делят на основные, кислые и нейтральные. Шлаки относят к основным при их основности $b=(CaO+MgO)/(SiO_2+Al_2O_3)>1$. Кислые шлаки имеют основность меньше единицы, а нейтральные — единицу.

Оксиды, входящие в состав шлака, разделяют на три группы: кислотные (SiO_2, P_2O_5, SO_3, SO_4), образующие с основными оксидами силикаты, фосфаты и сульфаты соответственно; основные (CaO, MgO, FeO), образующие с кислотными оксидами соли; амфотерные ($A1_2O_3$), которые в зависимости от содержания других компонентов ведут себя или как основные, или как кислотные.

По содержанию оксидов железа, с частности FeO, шлаки разделяют на окислительные и восстановительные. Высокое содержание FeO делает шлак окислительным.

Таблица 5

Минеральный состав продуктов дробления хвостов мокрой магнитной сепарации (ок. 0,2 мм), % мас.

Минерал	Минералогический анализ		
	№1	№2	№3
Пироксены	74,0	42,0	74,0
Плагиоклазы	7,0	25,0	10,0
Гр. эпидота	6,0	15,0	5,0
Амфиболы	2,0	15,0	7,0
Магнетит	2,0	1,0	1,0
Оливин	1,0	1,0	1,0
Хлориты	1,0	-	-
Гетит	-	1,0	0,5
Сульфиды	0,1	+	0.3
Гранаты	0,1	-	0,5
Ильменит	0,1	-	-
Апатит	0,1	-	-
Прочие	6,6	-	0,7

Таблица 6

Оксидный состав продуктов дробления хвостов, % мас.

Оксид, элемент	Химический анализ		
	№1	№2	№3
SiO_2	45,32	44,77	44,41
TiO_2	0,803	0,722	0,834
Al_2O_3	6,29	7,94	6,99
FeO	9,57	10,40	9,49
MnO	0,121	0,117	0,118
CaO	22,51	20,12	20,80
MgO	14,16	13,32	14,07
Na_2O	0,730	1,202	1,030
K_2O	0,045	0,072	0,051
P_2O_5	0,011	0,020	0,015
V	0,0288	0,0320	0,0284
S	0,021	0,026	0,020
Cr	0,0058	0,0104	0,0057
As	0,0010	0,0010	0,0008

Кроме FeO шлаки могут содержать и высшие оксиды железа Fe_3O_4, Fe_2O_3. Сера в шлаках находится в виде сульфидов или сульфатов Ca, Mn и Fe. В отдельных случаях шлаки содержат также оксиды Ti, B, V и ряд других соединений.

Металлургические шлаки разделяют на доменные, мартеновские, конвертерные, электросталеплавильные, вагранoчные, медные, никелевые и т.д.

Доменные шлаки. Наибольшее количество получаемых шлаков — это доменные. Выход доменного шлака, его состав и свойства существенно зависят от химического и минералогического составов пустой породы железных руд, золы кокса, содержания серы в шихте, характера процесса восстановления и теплового состояния печи, а также от вида выплавляемого чугуна.

Удельный выход шлака на отдельных предприятиях колеблется в широких пределах и составляет 300- 435 кг/т чугуна (табл. 7).

Таблица 7

Удельный выход доменного шлака и содержание металлических включений [26]

Металлургический завод, комбинат	Удельный выход шлака, кг/т чугуна	Содержание металлических включений, % от массы шлака
ММК (Магнитогорск)	354	2,16
Челябинский (ЧМЗ)	544	1,50
НТМК (Нижнетагильский)	512	3,30
Чусовской	610-774	2,19-3,80
Алапаевский	756-946	1,20-1,50
Белорецкий	763	1,50
Ашинский	750	1,30

Химический состав шлаков на разных предприятиях различный при производстве чугунов определенного вида и постоянства состава шихтовых материалов для данного завода, однако, при ровном ходе печи он остается достаточно стабильным. Большинство доменных шлаков характеризуется основностью 1,0-1,2 и химическим составом (%, мас.): 3-20 MgO, 5-15 Al_2O_3, 0,1-1,0 FeO, 0,2-3,0 MnO, 35-45 CaO, 30-40 SiO_2.

Минералогический состав шлаков достаточно широк, в него входят и минеральные фазы характерные для природного сырья (шпинели, мелилит, гелинит и др.) и специфичные встречающиеся в основном в шлаках (волластонит и др.) (табл. 8).

Наилучшим свойствами, в точки зрения переработки методами петрургического рециклинга, обладают шлаки в состав которых входит не более 5 минеральных фаз, основная масса кристаллической составляющей представлена мелилитом.

Закристаллизованные шлаки содержат минералы мелилит, состоящий из геленита $2CaO \cdot Al_2O_3 \cdot SiO_2$ и окерманита $2CaO \cdot MgO \cdot 2SiO_2$. Кроме того, в них сохраняется до 20% стекловидной фазы. Примером такой системы могут служить Чусовские шлаки.

Состав и свойства доменных шлаков зависят от характеристик переплавляемого концентрата и теплового режима ведения плавки. Практически при выплавке определенного типа чугуна из концентрата руд постоянного месторождения содержание в шлаках ведущих окислов (SiO_2, $A1_2O_3$, CaO и MgO) колеблется в небольших пределах. Более существенны колебания в содержании окислов Fe_2O_3, MnO, SO_3 и др., однако их доля в общей массе шлака незначительна.

Таблица 8

Оксидный и минералогический состав Уральских доменных шлаков

Шлак	Вид шлака	Оксидный состав, % масс.						M_k	Содерж. стекла, %	Минералогический состав кристаллической фазы, %мас.
		SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3 +FeO	CaO	MgO	Прочие			
Магнитогорский	гран.	36,34	15,3	0,27	38,9	8,77	0,42	1,08	80-95	геленит 5 псевдоволластонит 20 мелилит 53 ольдгамит 2 серпентит 10
	отв.	36,29	19,10	2,95	37,95	7,11	3,40	1,2	25	
Челябинский	гран.	35,01	15,30	0,34	36,39	6,30	6,66	1,17	75-95	геленит 5 волластонит 18 шпинели 2 ранкинит 13 мелилит 55 ольдгамит 4 серпентит 3
	отв.	33,40	15,22	0,70	36,20	7,96	6,52	1,1	26	
Нижнетагильский	гран.	35,40	16,89	0,67	34,92	8,98	3,14	1,18	88-95	геленит 5 волластонит 25 мелилит 45 шпинели 5 ольдгамит 5 серпентит 15
	отв.	28,75	15,44	2,06	31,25	11,58	10,22	1,04	25	
Чусовской	гран.	36,50	10,30	2,60	30,78	9,57	10,25	1,14	75-98	мелилит 55 монтичеллит 15 мервенит 10 геланит 10 псевдоволластонит 10
	отв.	34,30	14,50	0,80	30,40	10,10	9,90	1,25	15	

Практика получения камнелитых изделий [25-28] показала, что уральские доменные шлаки кислые, они не подвержены силикатному распаду и поэтому не нуждаются в шихтовых добавках и могут успешно применятся для петрургического рециклинга.

Сталеплавильные шлаки. Сталеплавильные шлаки образуются в результате окисления примесей чугуна и лома, расплавления известняка, извести, боксита, плавикового шпата, агломерата и окатышей, а также разрушения и растворения футеровки агрегата.

Состав конечного шлака при кислордно-конвертерном процессе (%): 43—50 CaO; 14—22 SiO_2; 7—20 FeO; 7—14 MnO; 3—7 Al_2O_3; 4—8 MgO; 0,5—3,0 P_2O_5; <1 CaS. Составы мартеновского и конвертерного шлаков несколько отличаются, но по основным компонентам незначительно. Наиболее стабильны по составу конвертерные шлаки. Электросталеплавильные шлаки имеют большую основность и значительные колебания состава в зависимости от марки выплавляемой стали.

Количество образующегося шлака на разных заводах неодинаково. В конвертерном процессе выход шлака по отношению к металлу составляет 10—17%. Еще большие колебания характерны для мартеновского процесса. Удельный выход сталеплавильных шлаков обычно составляет 130—220 кг/т стали.

Шлакообразующие оксиды при затвердевании могут образовывать двойные соединения: силикаты, алюминаты, фосфаты и ферриты, а также тройные, которые формируют кристаллическую фазу. Для сталеплавильных шлаков характерно высокое содержание железа в виде оксидов и металлических включений. В зависимости от химического состава многие шлаки подвержены распаду в процессе их охлаждения и хранения. Явление силикатного распада неизбежно в основных шлаках, содержащих не менее 40% окиси кальция. По петрургическим свойствам они не пригодны для петрургического рециклинга, но могут использоваться в качестве шихтовых добавок.

Ферросплавные шлаки. Производство ферросплавов основано на процессах восстановления элементов из оксидов, входящих в состав руды или концентрата, и сопровождается неизбежным образованием шлака. Количество и свойства шлака зависят от технологии процесса, вида и качества используемого сырья, марки выпускаемого сплава, состава футеровки плавильных агрегатов и приемников расплава.

Количество шлака в различных технологических процессах изменяется в весьма широких пределах. Отдельные этапы теоретически являются бесшлаковыми. В шлаковых процессах (производство феррохрома, ферромарганца, силикомаргакца, ферровольфрама, металлического марганца) кратность шлака составляет 0,8—3,5. Химический состав меняется также довольно широко: от ультраосновных до кислых (табл. 9-12).

Таблица 9

Состав шлаков ферросплавного производства, %

Характер производства	Содержание оксидов, %							
	SiO_2	CaO	MgO	Al_2O_3	MnO	FeO	P_2O_5	Cr_2O_3
Ферромарганец	31,5	46	1,7	2.2	20	-	0,1	-
Мет. марганец	29	46	2,1	3,4	25	0,15	0,01	-
Феррохром	26	53	10,5	6,7	-	0,9	0,01	-
Ферромолибден	65	7	2	11	-	9	-	3,4

Таблица 10

Химический и фазовый составы феррованадиевого шлака в разные годы выхода

Ферро-ванадиевый шлак ЧМЗ	Содержание оксидов, %											Минералы шлака
	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	Fe_2O_3+ FeO	MnO	S	Cr_2O_3	TiO_2	V_2O_5	m_0	
до 1949 г.	24,5	5,0	50,0	12,4	2,0+ 2,5	0,68	-	0,04	1,1	0,48	2,15	Двухкальциевый силикат до 80%(β-C_2S - до 50%, γ-C_2S - до 30%, монтичелит до 8%)
1980 г.	31,8	15,0	33,0	14,8	0,8	0,70	0,58	-	-	3,20	1,30	Двухкальциевый силикат до 60%, мелинит до 15%, геленит
с 1996 г.	26,2	9,2	56,1	6,8	0,6	0,50	-	0,20	1,8	1,00	2,05	Двухкальциевый силикат до 65%, ранкинит до 15%, мелинит

По петрургическим свойствам ферросплавные шлаки могут быть использованы как основа, так и как шихтовая добавка для целей петрургического рециклинга.

Топливные шлаки. Топливные шлаки это зольные остатки при сжигании твердого топлива (уголь, горючие сланцы) на тепловых электростанциях. По своему химическому составу они очень близки к составу отвальных пород от угледобывающих шахт. Средние данные по химическому составу некоторых топливных зол, на примере челябинских следующие, %, мас.: 49—55 SiO_2, 26—29 Al_2O_3, 11—14 FeO + Fe_2O_3, 3—6 CaO; 3—4 MgO.

В чистом виде топливные шлаки-золы сравнительно тугоплавки. При термическом воздействии деформация золы начинается при температуре 1075—1200° С, размягчение— при 1080—1390° С, жидкоплавкое состояние наступает при 1400—1450° С. Вязкость получаемого расплава довольно высокая и при температуре 1300—1400° С соответствует 250—300 из. Кристаллизационные свойства расплава низкие. Для повышения литейных и кристаллизационных свойств расплава и получения изделий пироксенового состава в шихту, кроме золы, вводят доломит, кварцевый песок и хромистый железняк.

Таблица 11

Химический состав феррованадиевых и н/у феррохромовых шлаков заводов России

Название шлака	Содержание оксидов, %										
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3+ FeO	CaO	MgO	SO_3	MnO	TiO_2	V_2O_5	Cr_2O_3	m_0
Нижнетагильский титанистый	29,58	17,57	2,34	31,64	10,35	0,23	0,98	8,20	-	-	1,16
Чусовской ферро-ванадиевый	26,20	9,20	1,00	56,20	6,80	-	0,50	1,80	1,10	0,20	2,06
Челябинский н/у ферро-хромовый	25,60	4,80	3,60	47,50	10,60	-	0,30	-	-	7,60	2,07
Серовский хромистый	32,46	17,50	0,95	1,40	44,20	-	-	-	-	3,60	1,17

Таблица 12

Минералогический состав некоторых ферросплавных шлаков

Название шлака	Минералы
Нижнетагильский феррованадиевый	Двухкальциевый силикат до 80%, мелилит -15%, геленит, перовскит (шпинели, волластанит)
Чусовской феррованадиевый	Двухкальциевый силикат до 70% (в том числе γ-C_2S - до 40%, β-C_2S - до 12%,) ранкинит до 30%, мелилит
Челябинский н/у феррохромовый	Двухкальциевый силикат до 70% (преимущественно γ-C_2S - до 63% и β-C_2S - до 7%,) геленит, мелилит

Из топливных шлаков можно получить минеральную теплоизоляционную вату, цементы и другие материалы как для технических целей, так и в качестве строительных материалов. Недостатком топливных зол, как и металлургических шлаков, при применении в качестве петрургического сырья является их высокая газонасыщенность.

Несмотря на универсальность металлургических шлаков, определять области их применения можно и нужно исходя из природы шлаковых расплавов. Только тогда ценные свойства шлаков будут полностью использованы. Следовательно надо учитывать состав шлаков в разных регионах, поскольку и сырье в разных регионах весьма отличается. Состав и структура шлаков в разных регионах Пермского края представлена в табл. 13. При классификации техногенных образований и шлаков следует учитывать регион их происхождения.

Таблица 13

Состав техногенных сырьевых источников петрургического сырья Пермского края

Элементы	Отвалы пустой породы г. Кизел	Зольные техногенные образования Широковской ГРЭС	Зольные техногенные образования Добрянской ГРЭС	Шликерные техногенные образования эмалевого производства г. Лысьва	Доменный шлак г. Чусовой
SiO_2	45,3	49	53	42-45	25,06
TiO_2	0,66	-	-	3-5	15,41
Al_2O_3	19,94	25	20	8-10	9,07
Fe_2O_3	8,13	8	7	-	-
FeO	-	6	9	-	1,93
MnO	-	-	-	-	0,53
MgO	1,21	2	2	0,2-0,5	12,51
CaO	0,85	3	3	2-8	30,98
Na_2O	0,54	2	1	6	-
K_2O	2,32	2	1	7	-
P_2O_5	0,11	-	-	1,5-2,0	-

Отрасль петрургической переработки техногенных образований одновременно крайне привлекательна для инвестиций и недоступна для них же. Предприятие, решившееся на радикальные изменения и использование более совершенных технологий сталкивается с отсутствием механизма лицензирования этой деятельности и ее результатов, к примеру, получение сертификата на продукцию их техногенных образований не возможно без создания соответствующих технических регламентов и стандартов, а этот вопрос должен решаться уже не на предприятие, а на федеральном уровне.

О необходимости формирования законодательной базы в области переработки нерудного минерального сырья и металлургических шлаков, доменных в частности, металлурги говорят уже давно. Существует масса работ, описывающих подробный механизм создания этой базы. Однако, мы считаем, волевых законодательных решений будет недостаточно, как правило законы не реализуются на практике, без действий способствующих формированию рынка вторичных ресурсов и экологических услуг, который в настоящее время в РФ практически не существуют. Говоря о рынке экологических услуг, мы имеем в виду, прежде всего грамотный энергетический менеджмент и менеджмент вторичных ресурсов, а для оказания таких услуг требуются грамотные профессионалы, подготовка которых осуществляют от силы в 2 – 3 ВУЗах страны. Понятие рынок вторичных ресурсов включает в себя и торговлю квотами в рамках уже упомянутого Киотского протокола, и торговля самими ресурсами как сырьевыми материалами для других предприятий.

В качестве резюме, отметим, что представленные сведения о номенклатуре техногенных образований Уральской горно-металлургической промышленности и дополнение их классификации с точки зрения их химического и минералогического составов позволяют в высшей степени положительно оценить перспективность использования петрургических методов рециклинга для экономического и производственного развития предприятий. Однако, успешное внедрение и реализация петрургических технологий рециклинга

невозможна без научного базиса. В свете чего, перспективным считаем, рассматривать вопрос создание специализированного отдела в Институте металлургии УрО РАН для всесторонних исследований и продвижения петрургических технологий.

Список литературы

1. Вторичные материальные ресурсы черной металлургии: справочник. - М.: Экономика, 1986. - 344 с.
2. *Чернов В.П., Бахметьев В.В.* Применение отходов промышленного производства для получения литых изделий: Монография. Магнитогорск: МГТУ, 2002.-161 с.
3. *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. - 2013. № 1. - С. 46-50.
4. *Игнатов М.Н., Игнатова А.М., Скамьянова Т.Ю., Рудакова Т.А., Пигалев Д.С.* Библиографический указатель учебной и научно-технической литературы литейного производства. – уч. пособие. - Пермь, 2005. – 134 с.
5. *Богданов С.В., Корнилаев С.М., Черных В.О., Герасимов А.С.* Аксиоматический подход к оценке эффективности реализации венчурных металлургических проектов. //Электрометаллургия. 2009. № 11. - с. 41-46.
6. *Игнатова А.М.* Разработка шихты для шлаколитых изделий на основе техногенных отходов доменного производства Чусовского металлургического завода/ А.М. Игнатова, В.Г. Камерцель, В.П. Чернов // Материалы международной НТК «Перспективные технологии и материалы». – Пермь: ПГТУ, 2008. – с. 183.
7. *Игнатова А.М., Игнатов М.Н.* Материал на основе синтетических минеральных сплавов для цветных дорожных покрытий.// Архитектура и строительство России. 2011. № 7. - с. 10-17.
8. *Игнатова А.М.* Многотоннажная технология переработки металлургических шлаков и отходов горно-обогатительных комбинатов (ГОК) в литые силикатные материалы для различных сфер промышленности, промышленного, гражданского и дорожного строительства/ А.М. Игнатова, В.П. Чернов// Ползуновский альманах. - № 3 т. 2, 2009. – с. 129-131.
9. *Баженов П.И.* Комплексное использование минерального сырья при производстве строительных материалов. - Ленинград-Москва, 1983. – 168 с.
10. *Розенгарт Ю.И., Якобсон Б.И., Мурадова З.А.* Вторичные энергетические ресурсы чёрной металлургии и их использование – К.: Вища шк., 1988. – 328 с.
11. Использование отходов, попутных продуктов в производстве строительных материалов и изделий. Охрана окружающей среды. Научно-технический реферативный сборник. Вып. 12, М., 1996. Щукина Е.Г. Беппле Р.Р. Архинчеева Н.В. – Улан-Удэ, 2004. - 87 с.
12. *Хейфец Р.Г., Куваев Г.Н.* Теплоэнергетика металлургических заводов. – Уч. пособ. – Д.:НМетАУ, 2000. – 66 с.
13. *Майборода В.Ф.* Применение вулканических шлаков в строительстве. - М.,Стройиздат,1988. – 148 с.
14. *Игнатова А.М., Ханов А.М., Чернов В.П.* Техногенное сырье Пермского края для производства каменного литья. – Тезисы докладов XXIX Российской школы В.П. Макеева. – Миасс, 2009. – с. 123
15. *А.М. Игнатова, А.М. Ханов, Чернов В.П.* Рециклинг доменных шлаков. – Всероссийская НПК молодых ученых и специалистов «Приоритетные направления современной российской науки глазами молодых ученых». – г. Рязань. – с. 67-68.
16. *Игнатова А.М., Ханов А.М., Чернов В.П.* Оценка по пироксеновому модулю, диаграмме Ниггли и методу Чернова минерально-сырьевой базы Пермского края для камнелитейного производства. – Материалы краевой дистанционной НПК молодых ученых и студентов

«Молодежная наука Прикамья-2009», секция «Машиностроение и металлургия». – Пермь: ПГТУ, 2009. – 35 -38 с.
17. *Аликин Э.А.* Минерально-сырьевые ресурсы Пермского края. Энциклопедия./ Э.А. Аликин – Пермь, 2006. – 463 с.
18. Министерство природных ресурсов Пермского края. Минерально-сырьевые ресурсы. Экспертиза запасов общераспространенных полезных ископаемых [эл. ресурс]. http://priroda.perm.ru/mineral/expert/.
19. *Вываренц К.А., Златковский А.В.* Совершенствование методики оценки эколого-экономической оценки инвестиционных проектов по использованию промышленных отходов// Тр. Междунар. конгресса «ТЕХНОГЕН-2012». – Екатеринбург, 2012. – с. 547-551.
20. *Игнатова А.М., Наумов С.В., Артемов А.О., Игнатов М.Н., Ханов А.М.* Технология лабораторной, опытной и промышленной переработки горных пород для производства симиналов// Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение. 2011. Т. 13. № 4. - с. 117-129.
21. *О.Ю. Шешуков, В.С. Гуляков, И.В. Некрасов, А.Н. Шаманов, Висихус А.С., Кудинов Д.З.* Техногенные материалы – сырье для производства шлакообразующих// Тр. Междунар. конгресса «ТЕХНОГЕН-2012». – Екатеринбург, 2012. – с. 190 – 194.
22. *Игнатова А.М.* Изделия для дорожного строительства из шлакокаменного литья и технология их изготовления. - Материалы конференции «Строительная наука -2010». - Владимир, 2009. -с. 67-71.
23. *Белоцерковский А.М.* Завод работает без отходов. - М.: Знание, 1964. – 88 с.
24. *Игнатова А.М., Игнатов М.Н.* Взаимосвязь структуры и цветности камнелитых материалов, полученных на основе минерального нерудного и техногенного сырья//Фундаментальные исследования. 2012. № 6-2. - с. 435-440.
25. *Игнатова А.М., Игнатов М.Н., Черных М.М.* Перспективы применения цветных дорожных покрытий на основе синтетических минеральных сплавов// В сборнике: Машиностроение - традиции и инновации 2011. - с. 214-215.
26. *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. - 2013. № 1. - с. 46-50.
27. *Гладких К.В.* Шлаки – не отходы, а ценное сырье. - М., Стройиздат, 1986. – 140 с.
28. *Игнатова А.М., Шешуков О.Ю., Балакирев В.Ф.* Анализ, проблемы и перспективы использования сырьевого и материального потенциала техногенных образований горно-металлургической отрасли при инновационном подходе к их управлению и петрургическому рециклингу// Научно-технический вестник Поволжья. - №3, 2013.

05.13.12

П.Б. Каган к.т.н., Т.А. Барабанова

ФГБОУ ВПО "Московский государственный строительный университет",
кафедра «Информационные системы, технологии и автоматизация проектирования»,
Москва, kagan@mgsu.ru, barabanova.tanya@mail.ru

ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФОРМАЛЬНЫХ ЯЗЫКОВ

Рассматривается проблема описания технологических процессов в строительстве с помощью формальных языков.

Ключевые слова: *автоматизация проектирования, технологические карты, формальные языки.*

Существенным разделом строительного проектирования как по содержанию, так и по трудоёмкости, является организационно-технологическое проектирование.

Рентабельность проведения строительных работ может зависеть не только от безупречности технологических процессов, качества и перечня строительных материалов, но и от оборудования и технологических устройств, правильной организации труда [3]. Согласно нормативно-методическим документам Федерального агентства по строительству и жилищно-коммунальному хозяйству, выделяют следующие основные виды работ: подготовительные, земляные, свайные, монтаж и демонтаж сборных бетонных и железобетонных конструкций, устройство кровель, защита оборудования и строительных конструкций, пусконаладочные работы и др.

Одним из важных разделов организационно-технологической документации является составление технологических карт, которые входят в состав ППР. Технологические карты в строительстве предусматривают подробное описание технологических процессов.

Формирование и процесс автоматизации организационно-технологической документации в строительстве имеет свои специфические особенности.

Для того, чтобы облегчить процесс формирования технологических карт и автоматизировать их создание, возможно применить уже имеющиеся языки формального описания технологических процессов, или же разработать новый[2].

Типовой технологический процесс, как объект автоматизации организационно-технологического проектирования, — это упорядоченный (по последовательности выполнения) набор описаний технологических операций [6]. Проектирование технологических процессов для строительной отрасли характеризуется большим объемом исходных данных. Поэтому от рациональности и простоты описания исходной технической информации значительно зависят: время обработки данных; объем памяти ЭВМ, занимаемый исходной информацией; сложность алгоритмов и программ проектирования, а также время решения задачи.

Анализ существующих типовых карт показывает, что все они строятся относительно какого-либо конструктивного элемента, при этом, определяющим является:

- исходный материал конструктивного элемента;
- геометрические характеристики данного конструктивного элемента;
- набор работ с нормами по трудозатратам;
- состав и квалификация исполнителей;
- набор материалов, комплектующих, машин, оборудования и приспособлений [5].

Основываясь на исходных данных, в соответствии с классическим определением технологической карты, формируют текстовые и графические материалы, такие как: указания, схемы, правила выполнения работ, контроль качества, безопасность. В некоторых

случаях, типовые технологические карты проектируются с использованием обобщенного показателя конструкции: на 1 м^3, на 100 м^2 и т.п. [1]. Например, для укладки бетонной смеси, единичную работу для системы автоматизированного составления технологических карт можно представить следующим образом:

Таблица 1

№ п/п	Наименование работы	Состав и продолжительность операций, ч	Норма времени, чел.ч	Состав звена (аналогично ЕНиР)	Пара-граф ЕНиР
1	Укладка бетонной смеси подвижностью П4, П5 при устройстве монолитных стен высотой до 3,5м, толщиной 0,15- 0,2м и высоте слоя укладки не более 1,5м	- подача РС и вибрирование - 0,6; -перемещение оборудования -0,2	0,8	Бетонщик 4р -1 2р -1	Стены Е4-1-49-Т.3, в1

Система, описывающая технологический процесс, должна обеспечить также целостность данных, которые необходимы для автоматизации проектирования. Условно-постоянную информацию (нормативно-методологическая, стандартные решения, алгоритмы) легко преобразовать к формализованному виду (таблицы справочников, таблицы типовых решений, таблицы соответствия). Для переменной информации эта задача сложнее. Сведения о строительном процессе, материалах представляют собой схему, чертеж, численно-символьный набор и текстовое описание. Важно, что система может всю эту разнообразную информацию представить в едином численно-символьном виде.

Большинство имеющихся конструкций формальных языков строится по общей схеме: сначала выбирается алфавит, или совокупность исходных символов, из которых будут строиться все выражения языка; затем описывается синтаксис языка, то есть правила построения осмысленных выражений. Буквами в алфавите формального языка могут быть и буквы алфавитов естественных языков, и скобки, и специальные знаки и т.п. Из букв, по определенным правилам можно составлять слова и выражения. [7] Осмысленные выражения получаются в формальном языке, только если соблюдены определенные в языке правила образования. Для каждого из формальных языков совокупность этих правил строго определенная, и модификация даже одного из правил приводит к появлению нового диалекта этого языка.

В вопросе формального описания технической информации выделяют два различных методических подхода: разработать комплекс кодировочных ведомостей и использовать специальный формализованный язык. При проектировании на основе типовых технологических процессов необходимо выделить единичный технологический процесс. В системах автоматизации проектирования единичных технологических процессов, описывая исходные данные, используются формализованные проблемно-ориентированные языки, более универсальные, которые обладают большей инвариантностью. Так, например, в машиностроении технологические процессы описывают с помощью метода языков и грамматик.

Применяя данный метод к технологическим картам, например, для изготовления пространственного арматурного каркаса колонны необходимо выписать фразы (подготовка и рубка арматуры на заданную длину; гибка хомутов; изготовление закладных деталей; сборка, крепление греющего кабеля; строповка и подача к месту монтажа; установка дистанцеров; установка и крепление в проектном положении; проверка точности установки и т.д.). Далее систематизировать и выделить составляющие: совершаемое действие; объект, над которым совершается действие; инструмент.

Основываясь на этих составляющих, можно составить алфавит нетерминальных символов для будущей грамматики. Он будет иметь вид: N = {A, O, I, S}, где A - Action (Действие), O - Object (Объект), I - Instrument (Инструмент), S - стартовый символ. Каждая переменная должна принимать определенное значение. Из множества всех возможных значений составляют алфавит терминальных символов. Для простоты разбивают его на четыре

подалфавита сообразно разбиению фразы на составляющие. Тогда T_a - подалфавит констант, обозначающих действие. T_a = { «Закрепить», «Собрать», «Изготовить», «Установить», «Изогнуть», «Строповка» , «Проверить» }. Для удобства задают каждой константе пиктограмму, тогда T_a = { , , , , , , }. Аналогично, *T_a - подалфавит констант, обозначающих объекты.* T_o = {«Арматура», «Хомуты», «Дистанцер», «Кабель»}. Либо, что то же самое: T_o = { , , , }. И, наконец, *T_i - подалфавит констант, обозначающих инструмент.* T_i = { «Верстак с ручным станком для гнутья», «Контейнер для заготовок стержней», «Контейнер для готовых изделий», «Кран», «Разметочная линейка»}, либо T_i = { , , , , , }. Осталось добавить *дополнительный подалфавит* T_d = { d_1, d_2, d_3 }, где d_1 - пустой символ («»), d_2 - символ, отделяющий операции нашего технологического процесса друг от друга (._), d_3 - символ окончания технологического процесса. Получается объединение $T = T_aT_oT_iT_d$.

Предварительную запись фраз с помощью вышеописанных констант и переменных:

1. - «Закрепить»( ) «Арматура»( ) «Верстак с ручным станком для гнутья»( ).
2. - «Строповка»( )«Арматура»( ) «Кран»( ).
3. d_1 - «Собрать»( ) «Кабель»( ) «»(d_1) и т.д.

В итоге становится возможным описать процесс изготовления детали: d_2 d_2 d_1 d_2 d_2 d_2 d_2 d_2 d_2 d_2 d_2 d_3. Структура продукции показывает, что формируется грамматическая фраза, описывающая определенное действие технологического процесса. Когда начальный символ грамматики принимает значение d_3, это означает, что описание технологического процесса закончено. [4]

На основании собранных исходных материалов по технологическому проектированию в строительстве, а также основываясь на исследовании вопросов формализации технологических процессов, можно сделать вывод о том, что предлагаемый подход делает возможным формализовать описание исходных данных в организационно-технологическом проектировании и автоматизировать процесс формирования основных разделов типовых технологических карт в строительстве.

Список литературы

1. *Каган П.Б., Барабанова Т.А.* Совершенствование разработки технологических карт в строительстве // Строительство: наука и образование. – 2012. – №4.
2. *Клюев А.С., Глазов Б.В., Дубровский А.Х., Клюев А.А.* Проектирование систем автоматизации технологических процессов // Справочное пособие. М.: Энергоатомиздат, 1990г.
3. *Король Е.А., Комиссаров С.В., Каган П.Б., Арутюнов С.Г.* Решение задач организационно-технологического моделирования строительных процессов // Промышленное и гражданское строительство. – 2011. - №3. – С. 43-45.
4. *Лысенко Н.В., Носов Н.В.* Проектирование технологических процессов в машиностроении //Метод. пособ.; Самар. гос. техн. ун-т. Самара, 2008. 90 с.
5. *Олейник П.П., Бродский В.И.* Система стандартизации организации строительного производства // Вестник МГСУ. 2012. № 6. С. 119-125.
6. *Петров Ю.А., Захаров А.А.* Практическая методология // Озерск: ОТИ МИФИ, 2001. - 107 с.
7. *Спиридонов Э.С., Полянский А.В.* Организационно-технологическое проектирование в транспортном строительстве с использованием методов искусственного интеллекта //Транспортное строительство, №7, 2010. С. 22-24.

05.02.11

А.В. Ключников, Е.Ф. Михайлов, М.С. Чертков

Российский федеральный ядерный центр – Всероссийский научно-исследовательский институт технической физики имени академика Е.И. Забабахина, Снежинск, a.klyuchnikov@bk.ru

ДИАГНОСТИКА ХАРАКТЕРИСТИК АСИММЕТРИИ МАСС СКОРОСТНЫХ ЛА МЕТОДОМ ДИНАМИЧЕСКОЙ БАЛАНСИРОВКИ

В статье представлены результаты работ по созданию на основе применения методов и средств динамической балансировки методики обнаружения наличия и определения значений параметров, характеризующих асимметричность в распределении масс высокоскоростных летательных аппаратов, с целью их последующего уравновешивания.

Ключевые слова: *ротор, центр масс, ось инерции, дисбаланс, измерение.*

Для обеспечения требуемой точности траекторного движения высокоскоростных, неуправляемых, стабилизируемых вращением вокруг оси симметрии своей наружной поверхности летательных аппаратов (ЛА), актуальной задачей является не только обнаружение наличия асимметрии в распределении масс аппарата, но также экспериментальное определение действительных значений параметров этой массо-инерционной асимметрии, к которым, в частности, относится величина смещения центра масс и угол отклонения продольной главной центральной оси симметрии (ГЦОИ) от геометрической оси аппарата [1], и приведение этих значений к заданным в эксплуатационной документации на аппарат нормативам после его изготовления и сборки. Например, такая задача возникает при проектировании и изготовлении силовых установок воздушных транспортных средств, корпуса которых, как правило, выполняют в виде длинномерных конических тел вращения с малым полууглом раствора.

В последнее время существенно возрос интерес к использованию методов и средств динамической балансировки [2] в технологии контроля параметров массо-инерционной асимметрии ЛА. Эффективность их использования обусловлена несколькими причинами. Прежде всего – это высокие точностные характеристики балансировочных стендов (станков), позволяющие (при совмещении геометрической оси аппарата с осью вращения) в 5 и более раз повысить точность определения параметров массо-инерционной асимметрии по сравнению с устройствами, реализующими методы статической балансировки и маятниковых колебаний [2–4], как правило, используемыми в настоящее время для контроля массо-центровочных и инерционных характеристик (МЦИХ) – массы, координат центра масс, моментов инерции ЛА. Также привлекательным аспектом для применения является высокая производительность балансировочных стендов: как правило, время измерительного цикла, включая раскрутку, выполнение измерений и торможение объекта контроля составляет всего несколько минут, что позволяет выполнить балансировку ЛА за время, не превышающее нескольких часов, что существенно меньше, чем при раздельном использовании центровочных и маятниковых стендов.

Для прецизионной балансировки конических ЛА был спроектирован и изготовлен низкочастотный динамический балансировочный стенд с двумя жёсткими опорами, выполненными в виде соосных конических газостатических подшипников и консольно закрепленными на вертикальной стойке [5]. С целью исключения механического контакта аппарата с балансировочным оборудованием в процессе выполнения измерений контролируемый аппарат устанавливают (носком вниз) на внутренние опоры специального технологического переходника, представляющего собой полый металлический усечённый ротор. При этом переходник в соответствии с рис. 1. загружается на газостатические

подшипники вертикально, торцом меньшего диаметра вниз. В процессе балансировочного эксперимента переходник также материализует вторую (нижнюю) плоскость коррекции, расположенную на его нижнем торце, (тогда как в качестве первой – верхней – плоскости коррекции используется штатная плоскость коррекции ЛА, зачастую совмещённая с днищем и расположенная вблизи торца аппарата). Это позволяет проводить (с помощью пробных грузов) прецизионную настройку измерительной системы стенда в двух плоскостях. Для раскрутки и торможения сборного ротора, а также для разделения сопрягаемых поверхностей технологического переходника и газостатических подшипников используется сжатый воздух, поступающий из заводской пневмосети низкого давления (0.6 МПа). Перед балансировкой определяют (с помощью другого оборудования и других средств измерений) массу, моменты инерции и продольное положение центра масс ЛА.

В ходе балансировочного эксперимента выполняют серию пусков сборного ротора, образованного технологическим переходником и собственно контролируемым аппаратом. В каждом пуске измерения вибраций опор, пропорциональных дисбалансам сборного ротора в плоскостях коррекции, выполняют при постоянной угловой скорости вращения ротора ω. Измерения выполняют с использованием силоизмерительных датчиков, установленных в упругих элементах верхней и нижней опор, по команде от фотодатчика-отметчика фазы дисбалансов, срабатывающего по завершении каждого оборота сборного ротора. В результате последующей математической обработки вибросигналов, выделяются из смеси с помехой дискретные составляющие с частотой, равной рабочей частоте вращения [5], определяются их амплитуды и фазы, пропорциональные амплитудам и фазам вибраций соответствующих опор.

Пуски с пробными грузами известной массы, поочерёдно прикрепляемыми в известных угловых положениях соответственно к верхней и нижней плоскости коррекции, выполняют при неизменном положении контролируемого аппарата внутри технологического переходника. Результаты измерений используют для расчёта комплекса балансировочных коэффициентов, включающего коэффициенты балансировочной чувствительности стенда по значениям и углам дисбалансов в плоскостях коррекции, а также коэффициентов взаимного влияния плоскостей коррекции, необходимых для последующего определения искомых параметров массо-инерционной асимметрии и проведения балансировочного расчёта. Пуски сборного ротора с ЛА, находящемся в исходном состоянии, выполняют дважды – для каждого из двух фиксированных угловых положений аппарата относительно технологического переходника, отличающихся друг от друга на 180°, а полученные результаты измерений при этом усредняют, выделяя из суммарных вибраций, обусловленных наличием дисбалансов вращающегося в опорах сборного ротора, составляющие вибраций, вызванные только дисбалансами контролируемого ЛА [6]. Рассмотренный метод модульной балансировки позволяет при определении параметров дисбалансов и расчёте характеристик асимметрии масс ЛА снизить погрешности измерений, вызванные возможным отклонением геометрической оси аппарата относительно оси вращения в результате случайных погрешностей изготовления внутренних опор переходника.

Измерительная система стенда построена на базе персонального компьютера (ПК), системный блок которого оснащён дополнительными устройствами аналогового ввода и цифрового ввода-вывода. ПК управляет разгоном и торможением сборного ротора по заданным алгоритмам, обеспечивает регистрацию с заданной частотой дискретизации и предварительную обработку временных реализаций вибросигналов, проводит балансировочный расчёт, выводит на печать протокол балансировки.

В ходе балансировочного расчёта сначала определяют (в системе координат, связанной с ЛА) неуравновешенные массы m_B и m_H, расположенные соответственно на известных радиусах r_B и r_H в верхней и нижней плоскостях коррекции. Затем рассчитывают начальные параметры радиуса-вектора смещения центра масс с геометрической оси аппарата по формуле

$$\vec{\rho} = \frac{m_B \vec{r}_B + m_H \vec{r}_H}{M}$$

и вектора-угла отклонения продольной ГЦОИ от той же оси по формуле

$$\vec{\alpha} = \frac{1}{2}\arcsin\frac{2\left(m_B \vec{r}_B x_B - m_H \vec{r}_H x_H\right)}{I_a - I_э},$$

где M – масса ЛА; I_a и $I_э$ – соответственно значения аксиального и экваториального моментов инерции ЛА; x_B и x_H – расстояния от центра масс до соответственно верхней и нижней плоскости коррекции в соответствии с расчётной схемой, представленной на рис. 2. Также (в случае если начальное значение какого-либо из указанных параметров превысило его предельно-допустимое значение) рассчитывают массу и угол установки балансировочного груза.

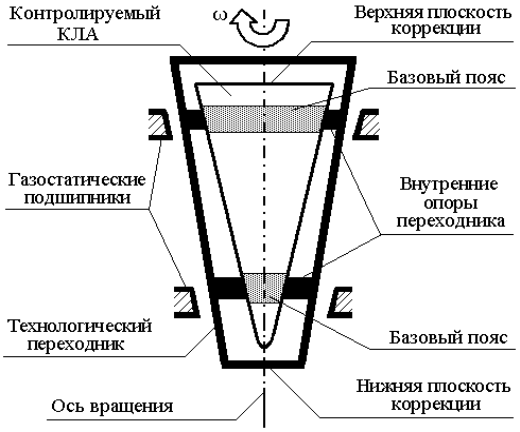


Рис. 1 – Сборный ротор

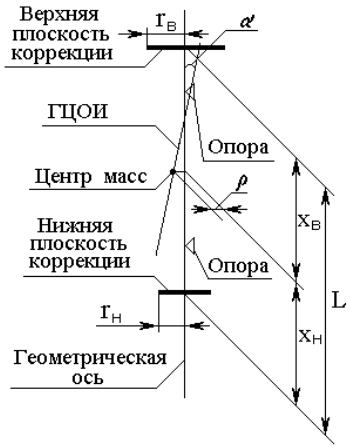


Рис. 2 – Расчётная схема

Рассмотренная методика диагностики, созданная на базе динамического балансировочного стенда, обеспечивает определение величины поперечного смещения центра масс и угла перекоса продольной ГЦОИ относительно геометрической оси ЛА с погрешностями, не превышающими соответственно 0.01 мм в диапазоне измерений от 0.03 до 0.2 мм и 1 угловой минуты в диапазоне измерений от 1 до 20 угловых минут для аппаратов массой более 100 кг [5]. В таблицах 1 и 2 приведены результаты экспериментального определения погрешностей измерений параметров массо-инерционной асимметрии, полученные с использованием эталонного ротора, который представляет собой массо-габаритный макет ЛА, МЦИХ и базовые посадочные поверхности которого соответствуют указанным характеристикам и поверхностям ЛА. Эталонные значения векторных параметров $\vec{\Pi}_{Эi}$ в каждой i-ой точке контролируемых диапазонов измерений моделировались в статических условиях путём прикрепления в известных угловых положениях контрольных грузов известной массы к торцам эталонного ротора, расположенным на известных расстояниях от центра масс ротора. Расчёт эталонных значений выполнялся по законам статики. Измерения значений соответствующих параметров $\vec{\Pi}_{ИЗМi}$ выполнялись методом модульной балансировки, рассмотренным ранее. Погрешности измерений параметров $\vec{\rho}$ и $\vec{\alpha}$ определялись по формуле $\Delta\Pi_i = \left|\vec{\Pi}_{ИЗМi} - \vec{\Pi}_{Эi}\right|$.

Таблица 1 – Погрешности измерений поперечного смещения центра масс

	1	2	3	4	5	6	7
$\rho_{ИЗМ}$, мм	0.026	0.033	0.038	0.061	0.086	0.190	0.284
$\varphi_{\rho ИЗМ}$	45.0°	90.0°	285.0°	45.0°	15.0°	15.0°	345.0°
$\rho_{Э}$, мм	0.021	0.034	0.036	0.055	0.080	0.180	0.289
$\varphi_{\rho Э}$	40.0°	99.6°	279.3°	41.6°	15.1°	14.3°	343.5°
$\Delta\rho$, мм	0.005	0.006	0.004	0.007	0.006	0.010	0.009

Таблица 2 – Погрешности измерений угла перекоса продольной ГЦОИ

	1	2	3	4	5	6	7	8
$\alpha_{ИЗМ}$	0.89'	1.14'	1.99'	4.41'	6.62'	8.84'	12.73'	16.40'
$\varphi_{\alpha ИЗМ}$	285.0°	225.0°	330.0°	15.0°	345.0°	315.0°	15.0°	15.0°
$\alpha_{Э}$	0.94'	1.39'	1.77'	4.49'	6.58'	8.85'	12.35'	16.39'
$\varphi_{\alpha Э}$	272.5°	232.4°	330.9°	14.8°	345.8	315.7°	18.75	17.7°
$\Delta\alpha$	0.2'	0.3'	0.2'	0.1'	0.1'	0.1'	0.9'	0.8'

Рассмотренная методика диагностики характеристик асимметрии масс высокоскоростных ЛА методом модульной динамической балансировки опробована в РФЯЦ-ВНИИТФ с положительными результатами. Конструкция балансировочного стенда и используемый способ балансировки признаны изобретениями (патенты 2292533, 2292534 опубликованы 27.01.2007, патент 2434212 опубликован 20.11.2011). Высокие характеристики точности определения параметров массо-инерционной асимметрии достигаются за счёт вертикального расположения оси вращения, практически исключающего погрешности, связанные с прогибом корпуса аппарата под действием сил тяжести, использования газовых опор, исключающих сухое трение при вращении в опорах контролируемого ротора.

Список литературы

1. *Ярошевский В.А.* Движение неуправляемого тела в атмосфере. – М.: Машиностроение, 1978. 168 с.
2. Основы балансировочной техники. Т.1. Уравновешивание жестких роторов и механизмов / Под ред. проф. В.А. Щепетильникова. – М.: Машиностроение, 1975. – 527 с.
3. ГОСТ 22061-76. Машины и технологическое оборудование. Система классов точности балансировки. – М.: Издательство стандартов, 1977. – 139с.
4. *Матвеев Е.В.* Направления развития технологий и оборудования для измерения инерционных характеристик изделий РКТ // Материалы IX Всероссийской конференции «Новые технологии», в 3-х томах. – М.: РАН, 2012. – Т. 1. С. 44-52.
5. *Ключников А.В., Сидоров А.В.* Применение метода низкочастотной динамической балансировки для прецизионного контроля параметров массо-инерционной асимметрии роторных объектов // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2011. – №3. С. 48-53.
6. *Ключников А.В.* Методика планирования эксперимента по определению величины поперечного смещения центра масс корпусов деталей методом динамической балансировки в условиях влияния значительной паразитной массы // Сборник материалов XXXI Всероссийской конференции по проблемам науки и технологий / Под ред. проф. Н.П. Ершова. – Миасс: МСНТ, 2011. – С. 163-166.

05.13.06

Л.А. Ковригин, И.Б. Кухарчук

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
кафедра конструирования и технологий в электротехнике,
Пермь, ktei@pstu.ru

УПРАВЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫМ ПОЛЕМ НЕФТЯНОЙ СКВАЖИНЫ С ПАРАФИНОВЫМИ ОТЛОЖЕНИЯМИ В УСЛОВИЯХ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ

В работе представлены результаты изучения температурного поля нефтяной скважины осложненной парафиновыми отложениями в условиях вечной мерзлоты, рассчитаны режимы работы греющего кабеля с учетом дебита, величины тока нагрева и времени его воздействия. Установлено, что для районов вечной мерзлоты в системе автоматического управления нефтяной скважиной мощность, подводимая к нагревательному кабелю для удаления парафиновых отложений, должна быть в 1,3 раза больше, чем для средней полосы России.

Ключевые слова: *нефтяная скважина, парафиновые отложения, нагревательный кабель, управление температурным полем скважины.*

Осложнения в эксплуатации скважин, связанные с выделением АСПО (асфальто-смоло-парафиновые отложения) на подземном оборудовании, присущи практически всем месторождениям как в России так и за рубежом. Выпадение АСПО определяется температурой, давлением и скоростью течения скважной жидкости, при этом основным фактором является температура. Образование АСПО в подземном оборудовании невозможно при устьевых температурах, превышающих температуру начала выпадения парафина. Глубина начала выпадения парафина соответствует отметке, где температура скважной жидкости становится меньше температуры выпадения парафина. Практика добычи парафиновых нефтей показывает, что наиболее интенсивно АСПО откладываются на внутренней поверхности колонны насосно-компрессорных труб (НКТ). Многочисленные промысловые исследования показали, что характер распределения парафиновых отложений в подъемных трубах различного диаметра примерно одинаков. Толщина отложений постепенно увеличивается от начала их образования на глубине 500 – 900 м и достигает максимального значения на глубине 50 – 200 м от устья, затем уменьшается до 1–2 мм в области устья. Для малодебитных скважин глубина начала выпадения парафина по отдельным скважинам Западной Сибири достигает отметки 1000 м [2].

В настоящей работе рассматривается скважина с параметрами: диаметр НКТ – 73 мм, диаметр ОК (обсадной колонны) – 168 мм, глубина подвески насоса – 2900 м, межтрубное пространство заполнено скважинной жидкостью.

Постановка задачи дана в работе [1].

Для районов вечной мерзлоты глубина промерзания составляет 300-400м, по этой причине температурный режим имеет характерные особенности, которые необходимо учитывать в САУ нефтяной скважины с греющим кабелем.

Расчет произведен методом конечных разностей по явной схеме с учетом распределения температуры по глубине скважины (геотерма), рассеивания тепла в грунт и переноса тепла за счет движения нефти от забоя к устью по маршевой схеме.

Уравнение энергии в конечных разностях.

$$T_{2(k+i)} = T_{1(k+i)} + h_t(a_n\ (a+b)+c),$$

$$a = \frac{T_{1\,(k,i+1)} - T_{1\,(k,i-1)}}{2h_r\left(R_{kab} + h_r(i-1)\right)},\ b = \frac{T_{1\,(k,i+1)} - 2T_{1\,(k,i)} + T_{1\,(k,i-1)}}{h_r^2},\ c = V_{z\,(k,i)}\ \frac{dT_{z(k,i)}}{dh_z},$$

где T_1 – температура в предыдущий момент времени,

T_2 – температура в последующий момент времени,
h_t – шаг по времени,
R_{kab} – радиус кабеля,
$a_n = \lambda/C\gamma$ – температуропроводность нефти,
λ – теплопроводность, C – теплоемкость и γ – плотность нефти,
h_r – шаг по радиусу, h_z – шаг по глубине скважины,
V_z – скорость движения нефти,
$\frac{dT_z}{dh_z}$ – градиент температуры по глубине скважины,
i – переменная цикла по радиусу,
k – переменная цикла по глубине.

Уравнение движения в конечных разностях.

$$V_{z(k,i)} = \frac{0,25h_r(V_{z(k,i+1)} - V_{z(k,i-1)})}{R_{kab} + h_r i} + 0,5(V_{z(k,i+1)} - V_{z(k,i-1)}) - \frac{dP/dz}{2\mu h_r^2}$$

где μ – вязкость нефти,
$\frac{dP}{dz}$ – градиент давления по глубине.

На рис. 1 представлено распределение температуры НКТ (*T*) по глубине скважины (*L*) при отсутствии нагрева для дебита 20 т/сут и 160 т/сутки. Температура грунта от устья до забоя (геотерма) растет от –5ºС до 82 ºС.). Нагревательный кабель опущен в НКТ до глубины 1200м. Рассмотрены два случая: 1) дебита 20 т/сутки, нагревательный кабель опущен в НКТ до глубины 1200м (кривая *1а*) и кабеля нет в скважине (кривая *1б*); 2) дебита 160 т/сутки, нагревательный кабель опущен в НКТ (кривая *2а*) и кабеля нет в скважине (кривая *2б*).

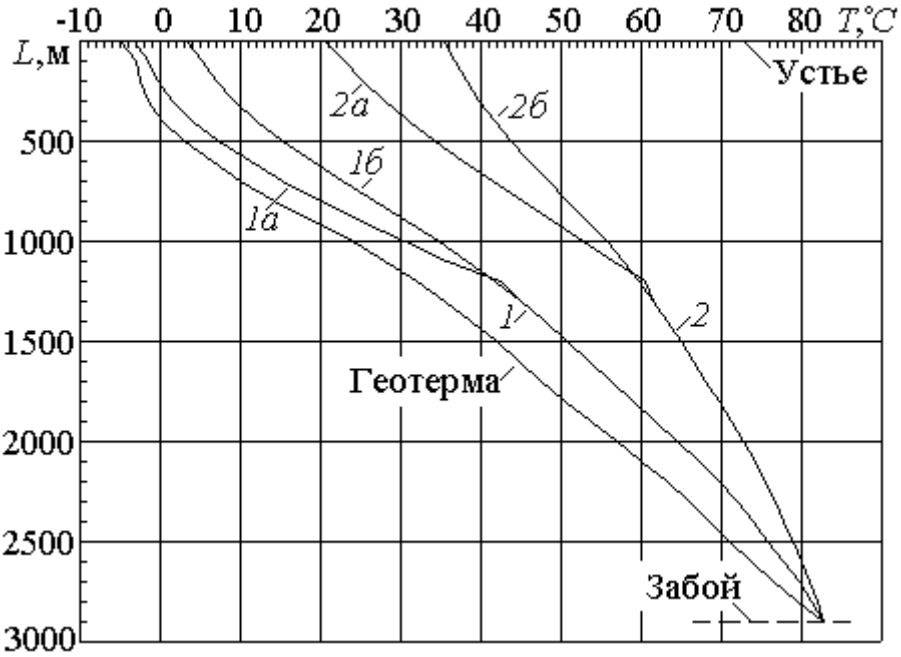


Рис. 1 – Распределение температуры по глубине скважины при отсутствии нагрева:
1 – 20 т/сутки, *1а* – кабель в скважине, *1б* – нет кабеля;
2 – 160 т/сутки, *2а* – кабель в скважине, *2б* – нет кабеля

Наличие кабеля в скважине, даже в отключенном состоянии, влияет на распределение температуры: так при дебите 20 т/сутки температура на устье без кабеля равна 3ºС и –3ºС с кабелем. С увеличением дебита эта разность растет, при дебите 160 т/сутки температура на устье без кабеля равна 35ºС и 20ºС с кабелем. Влияние кабеля на распределение температуры обусловлено тем, что при наличии кабеля образуется кольцевой зазор между кабелем и НКТ, это улучшает отвод тепла в окружающую среду.

Следовательно, когда не производится термообработка скважины, т.е. кабель выключен, его необходимо удалять из скважины.

На рис. 2 показано влияние мощности (*P*), подводимой к нагревательному кабелю, на температуру НКТ (*T*) для дебита 160 т/сутки. При мощности 5Вт/м температура на устье составляет 26 ºС, при 40Вт/м – 60 ºС.

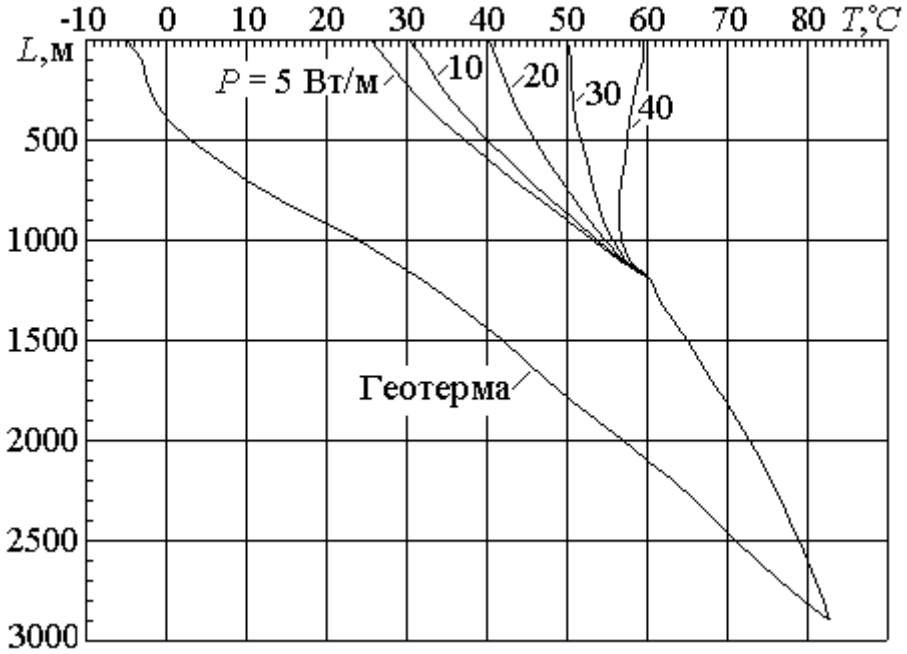


Рис. 2 – Распределение температуры по глубине скважины при дебите 160 т/сутки и различной мощности, подводимой к нагревательному кабелю

На рис. 3 показано распределение температуры по глубине скважины для районов вечной мерзлоты (геотерма 1) и средней полосы России (геотерма 2): *1* – *P* = 40Вт/м, *2* – 29Вт/м

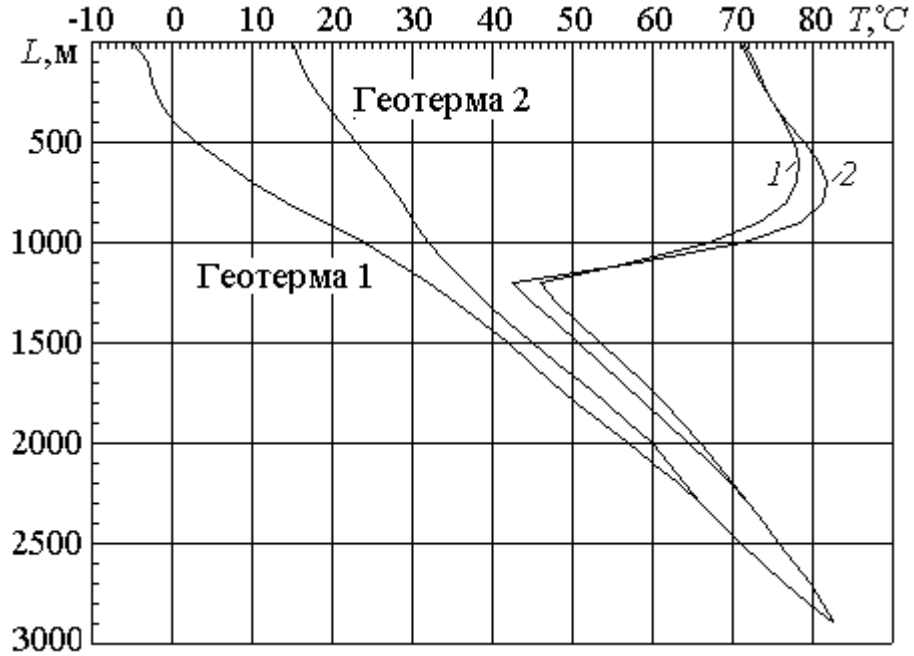


Рис. 3 – Распределение температуры по глубине скважины для районов вечной мерзлоты (геотерма 1) и средней полосы России (геотерма 2): *1* – *P* = 40Вт/м, *2* – 29Вт/м

Из рис. 3 видно, что для районов вечной мерзлоты мощность, подводимая к нагревательному кабелю для удаления АСПО с температурой плавления, например, 75 ºС, должна быть равна 40Вт/м, в то время как для средней полосы России достаточно 29Вт/м, т.е. в 1.3 раза меньше.

Список литературы

1. *Ковригин Л.А., Кухарчук И.Б.* Расчет тока нагрева греющего кабеля в нефтяной скважине. //Электротехника, 2011, №11, с. 54 .
2. *Персиянцев М.Н.* Добыча нефти в осложненных условиях. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2000, с. 351.

05.22.10

В.А. Корчагин

Тюменский государственный нефтегазовый университет,
Институт транспорта, кафедра «Сервис автомобилей и технологических машин»,
г. Тюмень, waxwork@nm.ru

НЕЙРОСЕТЕВОЙ ПОДХОД В ФОРМИРОВАНИИ РАЦИОНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ ЯМЗ-238 ПО ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ МАРШРУТАМ РЕМОНТА

В данной статье представлены результаты экспериментальных исследований, проводимые с целью обоснования адекватности разработанной методики распределения агрегатов автомобилей по технологическим маршрутам ремонта, в зависимости от выявленных сочетаний дефектов, с использованием искусственной нейронной сети при централизованном ремонте по техническому состоянию.

Ключевые слова: *дефекты агрегатов, двигатели ЯМЗ, ремонт “по состоянию”, искусственная нейронная сеть.*

Техническое состояние каждого из множества $O=\{O_i: i = 1, 2, 3, \ldots, M\}$ поступающих в ремонтный фонд агрегатов автомобилей характеризуется набором структурных, размерных и диагностических параметров, значения которых определяются на этапе предремонтного диагностирования при централизованном ремонте по техническому состоянию (ЦРТС). Определенные сочетания данных параметров и их значений означают наличие или отсутствие дефектов агрегатов.

Для выявления дефектов и последующего распределения агрегатов по технологическим маршрутам ремонта (комплексам ремонтных работ, сокр.- КРР), в зависимости от выявленных дефектов, использовалась многослойная искусственная нейронная сеть (ИНС) обученная по методу обратного распространения ошибки с введением дополнительного момента μ [1].

В качестве объекта исследований был выбран двигатель ЯМЗ-238, экспериментальные исследования над которым проводились с использованием производственно-технических мощностей Сургутской ЦБПО ПРНС и НО, являющаяся структурным подразделением ОАО “Сургутнефтегаз”.

Количество эксплуатируемых в ОАО “Сургутнефтегаз” двигателей марки ЯМЗ составляет более 6000 ед., среди которых преимущественно это двигатели ЯМЗ-238 и различные модификации данной модели (более 58% от общего числа) [2].

Структурно-следственные модели взаимосвязи между размерными, структурными и диагностическими параметрами для основных ресурсных групп механизмов двигателя ЯМЗ-238 в подробном виде представлены в работах В.Н. Красовского и В.В. Попцова [3][4].

Значения контролируемых параметров, характеризующие фактическое техническое состояние объекта исследований, выявлялись с применением существующих средств контроля и диагностирования двигателей ЯМЗ-238.

Решение задачи выявления дефектов двигателей ЯМЗ-238 и их последующее распределение по КРР выполнялось в соответствии с разработанной методикой нейросетевого подхода, которая состоит из двух последовательных алгоритмов.

По следствию из теорем Арнольда–Колмогорова–Хехт-Нильсена, можно рассчитать необходимое число нейронов для скрытого слоя ИНС [5], однако, при таком подходе нельзя утверждать, что число нейронов в скрытом слое было оптимально подобрано под поставленную задачу, кроме того, обычно в результате получается большой размах интервала, в котором лежит значение числа нейронов в скрытом слое.

Поэтому, следствие из данных теорем будет использовано лишь для определения верхнего предела количества нейронов (R) в скрытом слое:

$$R = \frac{N_y \cdot \left(\frac{Q}{N_x} + 1 \right) \cdot (N_x + N_y + 1) + N_y}{N_x + N_y}, \quad (1)$$

где N_y – размерность выходного сигнала; Q – число элементов обучающей выборки; N_w – необходимое число синаптических весов; N_x – размерность входного сигнала.

Обучающие наборы данных ($P_{ЦПГ}$, $P_{КШМ}$, $P_{ГРМ}$) формировались путем случайных комбинаций базовых наборов обучающих примеров, которые были составлены на основе структурно-следственных моделей взаимосвязи контролируемых параметров.

Всего в эксперименте участвовало 42 двигателя ЯМЗ-238 с которых, на этапе предремонтного диагностирования, были сняты показатели, характеризующие их фактическое техническое состояние. Так как полученные результаты будут использованы в качестве тестового набора данных для проверки адекватности построенной модели ИНС и качества обучения, то необходимо предъявлять повышенные требования к достоверности полученных результатов измерений. Поэтому, чтобы обеспечить требуемый уровень достоверности и исключить грубые ошибки измерений, был выбран критерий Титьена-Мура

На этапе экспериментальных исследований, построение моделей искусственных нейронных сетей осуществлялось в программном обеспечении (ПО) Deductor Studio Academic 5.2.

Алгоритм распознавания сочетаний дефектов (рис. 1), для каждого узла двигателя ЯМЗ-238 участвующего в эксперименте запускался, для более точного определения оптимального количества нейронов в скрытом слое посредством средних значений при методе итерационного наращивания числа нейронов, по 10 раз.

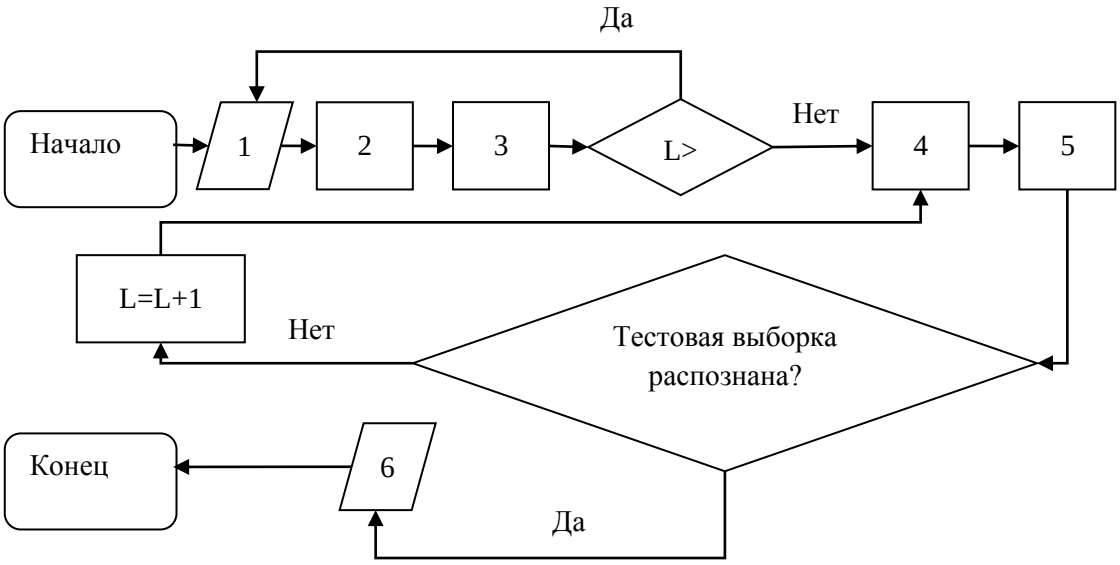


Рис. 1- Блок-схема алгоритма построения ИНС для решения задачи выявления сочетаний дефектов агрегатов, где: 1- составление базы данных сочетаний параметров агрегатов (DB1); 2- нормирование исходных данных в интервал области значений активационной функции; 3- количество нейронов в скрытом слое (L) = 2. Определение верхнего предельного значения количества нейронов в скрытом слое (R) по формуле (1); 4- обучение ИНС методом обратного распространения ошибки; 5- оценка качества выявления дефектов агрегатов на основе тестовой выборки; 6- присвоение каждому выявленному сочетанию дефектов определенный КРР и запись результатов в базу данных (DB2)

Для оценки качества обучения ИНС использовалась квадратичная функция оценивания ошибки ε (от англ. Quadratic error function), целевая функция которой должна стремиться к минимуму ($\varepsilon \to \min$).

$$\varepsilon = \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{Y}\left(y_t^{ж.} - y_t^{ф.}\right)^2, \qquad (2)$$

где Y – количество нейронов в выходном слое; $y_t^{ж.}$ – желаемый выходной вектор нейронной сети; $y_t^{ф.}$ – получаемый (фактический) выходной вектор нейронной сети.

Полученные результаты представлены в сводной таблице 1, где: число нейронов входного слоя (N_x) равно количеству контролируемых параметров; число нейронов выходного слоя (N_y) – количеству возможных дефектов; Q – объем обучающей выборки; R – верхнее предельное значение количества нейронов в скрытом слое, рассчитанное по формуле (1); L – полученное оптимальное число нейронов в скрытом слое;

Таблица 1- Результаты определения оптимального числа нейронов в скрытом слое для задачи выявления сочетаний дефектов

Наименование узла двигателя	**N_x**	**N_y**	**Q**	**R**	**L**
Цилиндро-поршневая группа (ЦПГ)	11	10	110	115	11
Кривошипно-шатунный механизм (КШМ)	12	8	96	76	10
Газораспределительный механизм (ГРМ)	18	11	198	137	15

Таким образом, полученные сочетания дефектов для основных ресурсных групп двигателя ЯМЗ-238 формируются в виде прямоугольной матрицы и заносятся в базу данных (БД) DB2.

Алгоритм построения ИНС для решения задачи распределения агрегатов по технологическим маршрутам ремонта схож с алгоритмом выявления сочетаний дефектов (рис. 1), кроме: нейроны входного слоя представляют собой возможные дефекты двигателя ЯМЗ-238 и будут формироваться на основе БД DB2, а каждый нейрон выходного слоя соответствует определенному КРР, который принимает значение 0 или 1 соответственно, в зависимости от выявленной принадлежности сочетаний дефектов к тому или иному КРР.

В своей работе В.В. Попцов, используя метод многомерной таксономии, определил, что оптимальное количество комплексов ремонтных работ для двигателей ЯМЗ-238 равно 4 [4], поэтому данное число технологических маршрутов будет использовано для распределения, результаты которого представлены на рис. 2 и рис. 3, ремонтного фонда двигателей ЯМЗ-238 между ними.

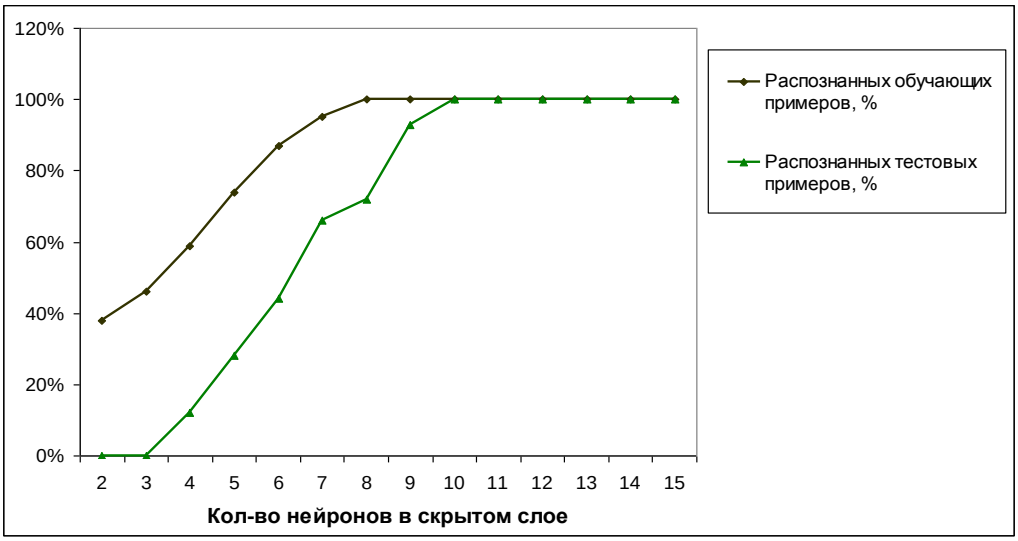


Рис. 2- График сходимости успешно распределенных двигателей ЯМЗ-238 по КРР при обучении и тестировании ИНС

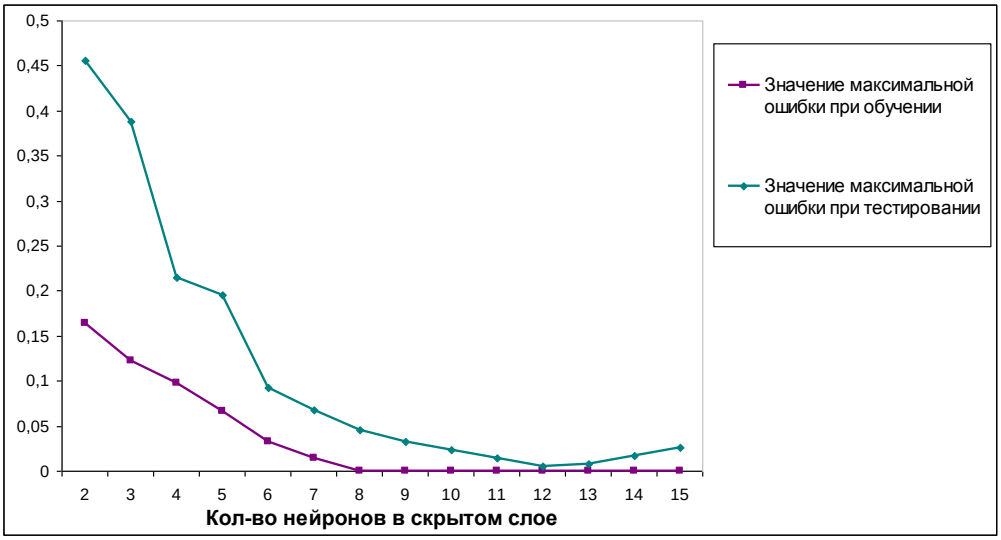


Рис. 3- График сходимости значений максимальной ошибки при распределении двигателей по КРР при обучении и тестировании ИНС

По результатам исследований сделаны следующие выводы:

1. Все примеры из обучающих и тестовых выборок были полностью распознаны, что говорит об адекватности построенных моделей ИНС;

2. На графиках сходимости максимальной ошибки при обучении и тестировании (рис. 2, 3) четко выделяется оптимум целевой функции $\varepsilon \to \min$ при числе нейронов = 12. Последующее повышение функции ошибки ε говорит о перегруженности структуры ИНС излишним количеством нейронов в скрытом слое.

3. Выбранный программный продукт Deductor Studio Academic 5.2 позволил построить модели ИНС в рамках обработки экспериментальных данных, однако данное программное обеспечение (ПО) не способно всецело охватить разработанную методику, что говорит о необходимости разработки оригинального ПО в виде автоматизированного рабочего места при котором мастер-диагност становится квалифицированным пользователем.

Список литературы

1. *Корчагин В.А., Красовский В.Н.* Когнитивные технологии в решении организационно-технологических задач предприятий автомобильного транспорта // Новые технологии – нефтегазовому региону: материалы Всероссийской научно-практической конференции. Т. 1; – Тюмень: ТюмГНГУ, 2012. – С. 34-37.

2. *Красовский В.Н., Иванкив М.М., Корчагин В.А.* Состояние и перспективы совершенствования ремонта специальной нефтегазопромысловой техники // Сборник научных трудов SWorld. Материалы Международной научно-практической конференции “Современные направления теоретических и прикладных исследований 2012”. Выпуск 1. Том 1. – Одесса: КУПРИЕНКО, 2012. – С. 77-82.

3. *Красовский В.Н.* Особенности организации процесса разборки двигателей при их ремонте по техническому состоянию: дисс. канд. тех. наук. – М., 1987.

4. *Попцов В.В.* Применение технологий централизованного ремонта агрегатов автомобилей по техническому состоянию в условиях мелкосерийного производства: дисс. канд. тех. наук. – Тюмень, 2002.

5. *Ясницкий Л.Н.* Искусственный интеллект. Элективный курс: учеб. пособие. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011. – с. 135-136.

05.02.07

А.А. Коряжкин, Д.И. Волков

ФГБОУ ВПО «Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А. Соловьёва», кафедра РМСИ им С.С. Силина,
Рыбинск, aakoryazhkin@rambler.ru

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ АДАПТИВНОГО ЛЕНТОЧНОГО ШЛИФОВАНИЯ ЗА СЧЕТ ПРОГРАММИРУЕМОГО УПРАВЛЕНИЯ УСЛОВИЯМИ ОБРАБОТКИ

Рассматриваются особенности адаптивного ленточного шлифования лопаток ГТД на станках с ЧПУ. Приведены математические зависимости для получения профиля обработанной поверхности. Достигнуто повышение точности обработки при сохранении требуемого качества поверхностного слоя.

Ключевые слова: *ленточное шлифование, модель режущего инстумента, модель обработанной поверхности.*

Совершенствование инновационных технологий, в том числе процесса адаптивного ленточного шлифования профиля проточной части должно решать следующие задачи: снижение трудоемкости изготовления, повышение точности обработки и уровня автоматизации за счет уменьшения ручного труда.

В настоящее время существует множество конструкций лопаток, этот факт обуславливает сложности в повышении уровня автоматизации производства и вызывает необходимость в применении ручной доработки проточной части лопаток компрессора ГТД.

В качестве альтернативы ручной обработке профиля лопаток ГТД широкое распространение получил полусвободный метод строчечного ленточного шлифования. Основная рациональная область применения данного метода сводится к улучшению качества обрабатываемой поверхности. Таким образом, актуальность «безразмерного» метода строчечного ленточного шлифования, как окончательного способа обработки значительно снижается [1].

В качестве оборудования для окончательной обработки используются многокоординатные ленто-шлифовальные станки с ЧПУ. Одним из последних представителей этой группы станков является ленто-шлифовальный станок Metabo 6NC–1000.

Отсутствие теории, практических рекомендаций и методик, необходимых для получения требуемой точности и качества обработанных поверхностей на многокоординатных ленто-шлифовальных станках приводит к прямой зависимости качества обработки от квалификации оператора.

В связи с этим, был разработан алгоритм адаптивного процесса ленточного шлифования, имеющий целью обеспечения требуемого качества поверхностного слоя. Данный алгоритм базируется на использовании следующих моделей:

- модель движений многокоординатного ленто-шлифовального станка с учетом упругих свойств технологической системы, позволяющая прогнозировать положение инструмента относительно обрабатываемой детали в любой момент времени [2-3];
- модель деформации контактного элемента и заготовки сложной формы, позволяющая рассчитать распределение давления по перу лопатки в любой момент времени [3];
- модель формообразования поверхности, позволяющая учитывать не только форму зерен, их размеры, ориентацию в пространстве, но и сложное движение зерна в зоне контакта, обусловленное упругими свойствами инструмента, а также микро и макропрофилем обрабатываемой поверхности [2,3].

На первом этапе происходит замер профиля лопатки и анализ распределения припуска по каждому сечению. Далее происходит расчет параметров управляющей программы с различными режимами: скоростью ленты и подачи стола, для увеличения глубины съема следует уменьшить подачу детали и увеличить скорость ленты для уменьшения глубины съема необходимо напротив увеличить подачу детали и уменьшить скорость ленты.

При полировании лопаток с длинной проточной части 250…300 мм, в определенные моменты времени инструмент захватывает одновременно несколько контролируемых сечений. В этом случае предлагается для выравнивания погрешности с предыдущей операции (фрезерования), опорные точки, расставлять в соответствии с координатами контролируемых сечений, таким образом, чтобы были зафиксированы положения ролика соответствующие входной серединой и выходной координатам. Для лопатки представленной на рис. 1. расстановка опорных точек (область обработки от бандажной полки до центра) выглядит следующим образом.

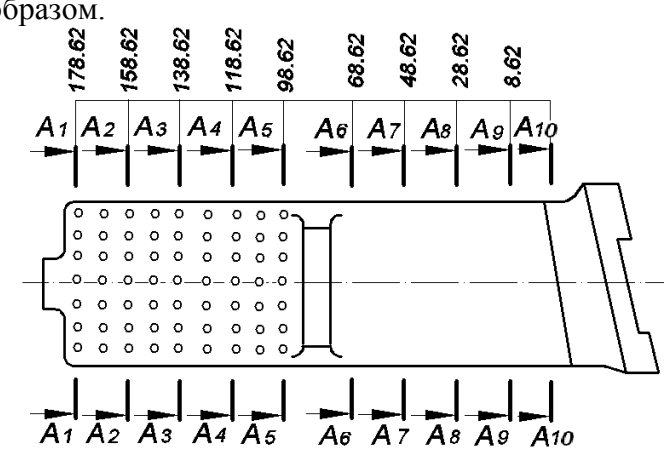


Рис. 1 – Схема расстановки опорных точек

Перераспределение давления в зоне контакта инструмента и заготовки осуществлялось посредством наклона ролика на угол *B* относительно нормали в плоскости образованной нормалью и направлением подачи инструмента. Угол наклона *B* задавался, таким образом, чтоб наибольшее суммарное давление приходилось на сечения с большим припуском (рис.2).

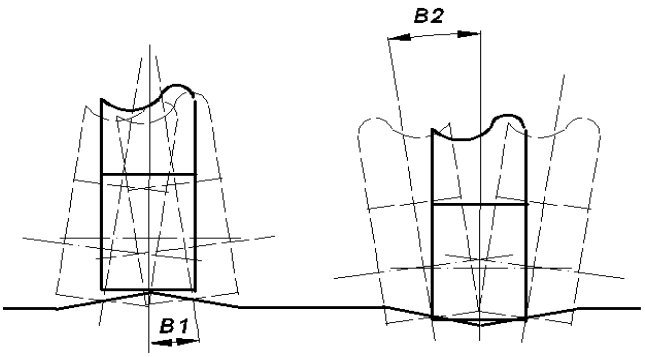


Рис. 2 – Схема выбора угла наклона ролика *B*

Величина угла *B* определялась в результате расчета интегрального уравнения (1)

$$\frac{1}{t}\int_0^t \left(\frac{H}{2} - V_d \cdot t\right) \cdot \sin(B - \omega_y \cdot t) \cdot dt = \Delta_R \cdot K_t, \qquad (1)$$

где H – ширина ролика, мм; ω_y – угловая скорость изменения угловой координаты *B*, рад/с; Δ_R – деформация ролика при традиционной схеме шлифования, мм; K_t – коэффициент равный отношению глубины съема в рассматриваемом сечении по оптимизированной схеме шлифования к величине съема по традиционной; V_d – скорость перемещения инструмента.

С использованием предлагаемых моделей удалось получить профиль поверхности вдоль строки по перу лопатки для схемы традиционного шлифования и для оптимизированной схемы с учетом распределения припуска с предыдущей операции (рис. 4.а). Изменение угла наклона ролика в зависимости от координаты центра приведено ролика рис. 4.б). При моделировании использовались следующие исходные данные: *Py* =150 Н, *H*=20 мм, *Vp* = 10 м/с, гладкий ролик диаметром 150мм, $V_Д$ = 3000 м/мин, лента Trizact 953 FA A 300.

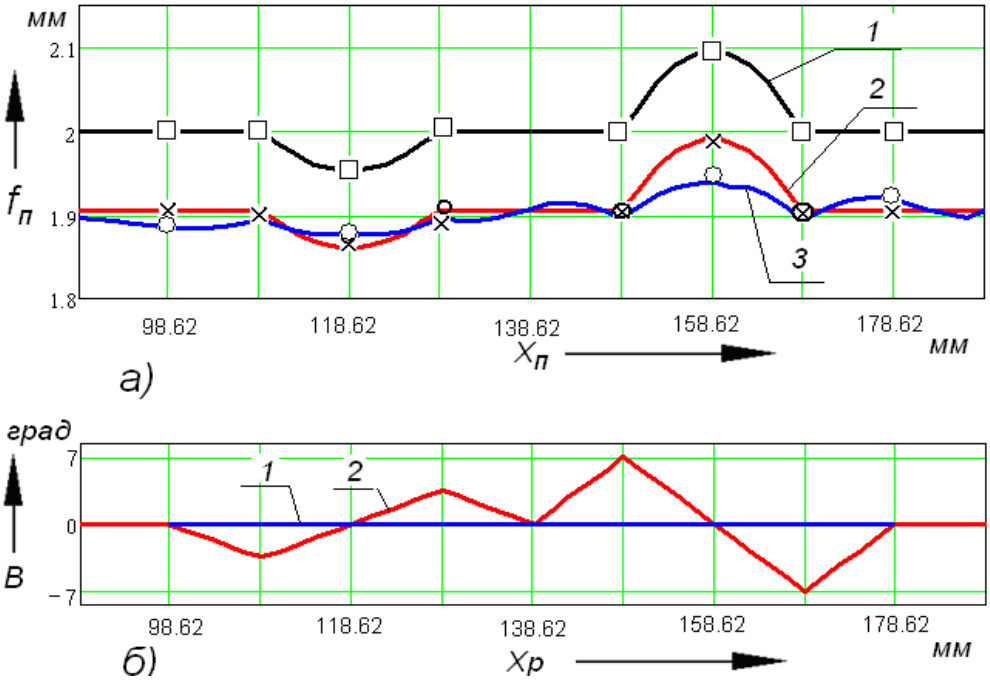


Рис. 3 – Результаты численного моделирования и сравнение с экспериментальными данными: а) профиль поверхности: 1 – до моделирования обработки,□ – экспериментальные точки, 2 – профиль поверхности после моделирования обработаной традиционной схемой, x - экспериментальные точки; 3 – профиль поверхности после моделирования обработки по оптимизированной схеме, ○ – экспериментальные точки;
б) зависимость угла разворота ролика от координаты перемещения центра ролика

В рассмотренном примере поверхность до обработки в виде впадин и выступов задавалась кусочно-аналитической функцией. Величина погрешности с предыдущей операции в данном случае составляла 0,15 мм, допуск по чертежу задан 0,1 мм.

Использование схемы выравнивания погрешности за счет разворота ролика в вертикальной плоскости относительно оси перпендикулярной к направлению подачи позволило снизить величину погрешности до значения 0,065 данная величина соответствовала требованию чертежа.

ВЫВОДЫ

1. Предлагаемая модель ленточного шлифования криволинейных поверхностей деталей ГТД, позволила осуществить адаптивное шлифование на станке с ЧПУ и исключить трудоемкую операцию ручного полирования профиля лопатки и прикормочного участка.
2. Разработанная методика оптимизации процесса ленточного шлифования позволила снизить погрешность с предыдущей операции (фрезерования) за счет оптимизации траектории движения инструмента и управления процессами контактного взаимодействия инструмента с заготовкой. Для конкретного примера позволила уменьшить погрешность обработки с 0.15 мм до 0.065 мм.
3. Сравнение результатов моделирования обработанной поверхности с экспериментальными данными показало, что погрешности вычислительного эксперимента не превышают 20% .

Список литературы

1. *Фельдман, Е.Ю.* Бескопирное шлифование крупногабаритных фасонных деталей [Текст] / Е.Ю. Фельдман, Ф.С. Юнусов. – Казань: изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 1999. – 155 с.
2. *Коряжкин, А.А.* Повышение точности ленточного шлифования широкохордных лопаток компрессора ГТД на станках с ЧПУ / А.А. Коряжкин, В.В. Михрютин // Справочник. Инженерный журнал. – 2008. – № 7. – С. 17–21.
3. *Волков, Д.И.* Оптимизация процесса ленточного шлифования при обработке широкохордных лопаток ГТД [Текст] /Д.И. Волков, А.А. Коряжкин // Технология машиностроения. – №1. – 2011. – С. 10–18.

05.13.19

А.Г. Кривич, Г.П. Жигулин к.т.н.

Санкт-Петербургский Национальный Исследовательский Университет Информационных Технологий, Механики и Оптики, факультет Комплексного Военного Образования, кафедра Мониторинга и Прогнозирования Информационных Угроз, Санкт-Петербург, kornilias@ya.ru

ГРАФИЧЕСКИЙ МЕТОД ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ

В работе представлен новый способ защиты информации, который сочетает в себе принципы программной защиты, а также социальной инженерии, что позволяет защищать информацию, как от предумышленной кражи, так и от случайных утечек.

Ключевые слова: *социальная инженерия, защита информации, цветность.*

На сегодняшний день существует несколько типов защиты информации, которые можно подразделить на аппаратные, программные и связанные с подготовкой персонала, работающего с секретной информацией [1].

Точно также существуют угрозы защите информации, которые также можно подразделить на эти же три категории. Как показывает анализ статистических данных, на основании работы, проведенной одним из авторов статьи, самый высокий риск кражи защищенной информации связан прежде всего с человеческим фактором. Это может быть как халатность персонала, плохая подготовка по защите информации, так и умышленная кража сотрудником в целях другой компании или государства.

Способы кражи информации, при которых используется человеческий фактор относят к социальной инженерии.

Социальная инженерия — это метод несанкционированного доступа к информационным ресурсам основанный на особенностях психологии человека [2]. Основной целью социальных инженеров, как и других хакеров и взломщиков, является получение доступа к защищенным системам с целью кражи информации, паролей, данных о кредитных картах и т.п. Основным отличием от стандартной кибер-атаки является то, что в данном случае в роли объекта атаки выбирается не машина, а ее оператор. Именно поэтому все методы и техники социальных инженеров основываются на использовании слабостей человеческого фактора, что считается крайне разрушительным, так как злоумышленник получает информацию, например, с помощью обычного телефонного разговора или путем проникновения в организацию под видом ее служащего. Для защиты от атак данного вида следует знать о наиболее распространенных видах мошенничества, понимать, что на самом деле хотят взломщики и своевременно организовывать подходящую политику безопасности.

Чтобы избежать кражи информации, для которой используются все возможные угрозы информационной безопасности необходимо использовать подходы социальной инженерии и использовать человеческие недостатки уже не для кражи, а для защиты информации. Графический метод защиты, рассмотренный в данной статье, базируется именно на этом подходе. Таким образом, сочетаются технические моменты и социальная инженерия.

Графический метод защиты информации позволяет скрывать информацию от злоумышленника даже тогда, когда она находится прямо у него перед глазами. На данный момент не существует специальных технических средств, которые смогли бы распознать графический метод автоматически. Кроме того, графический метод защиты информации позволяет прятать информацию вместе с тысячами «обманок», передавать информацию через интернет без риска того, что информация будет украдена.

Суть графического метода защиты информации заключается в том, что с помощью любого графического редактора на изображение определенных цветовых параметров

накладывается небольшой массив информации. Впоследствии все это преобразуется в единое графическое изображение, на котором текст невозможно разглядеть даже с помощью технических средств, если не знать специальный ключ.

Для примера приводится изображение (рис.1), которое может быть загружено на любом компьютере и использоваться как изображение рабочего стола. Или лежать в одной папке с другими картинками для рабочего стола, в которой их может быть несколько десятков или сотен.

Рис. 1 - Изображение, на котором скрыт текст, который необходимо защитить

После небольшой и несложной обработки графического изображения пользователь сможет прочесть скрытый текст (рис. 2).

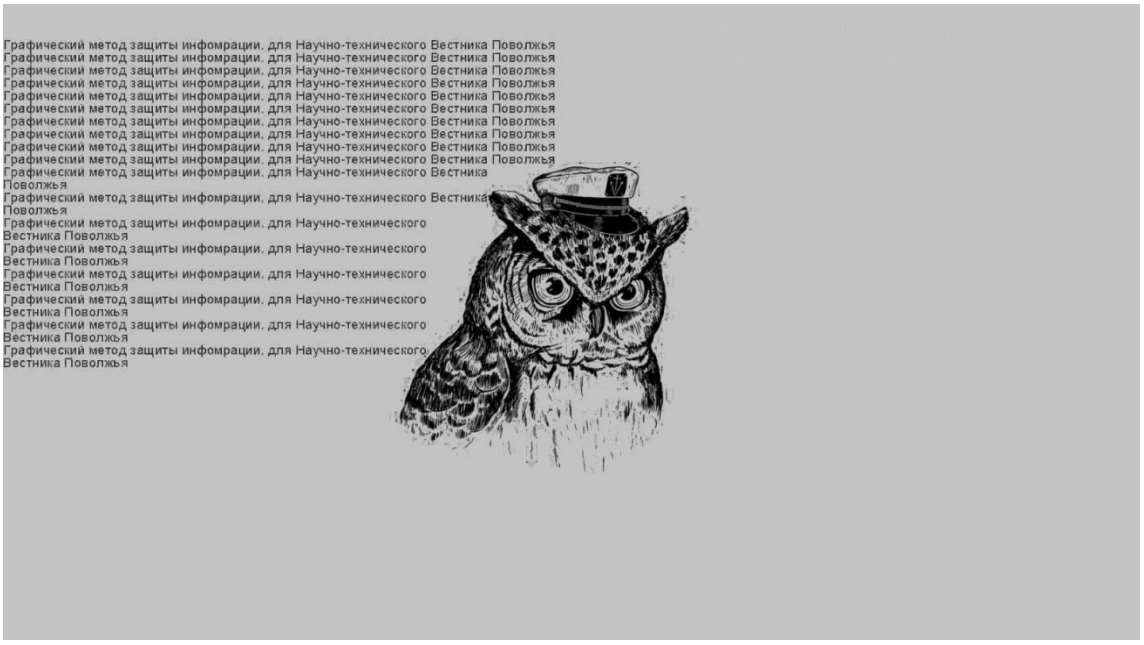


Рис. 2 - Изображение с проявленным скрытым текстом после обработки в графическом редакторе

Способ скрытия текста происходит при использовании цвета, который на два, три или четыре значения в шестнадцатеричной системе исчисления отличается от фонового цвета. Таким образом, тот, кто знает, на сколько значений отличается цвет текста (графический

ключ, graphical key) от цвета фона, может при помощи любого графического редактора проявить текст на изображении, заменив, к примеру, цвет #999995 (темно-серый) на #000000 (черный), при этом сам фон картинки может иметь значение #999999 (темно-серый).

Данным способом защиты информации невозможно защищать большие документы, но возможно небольшие, но ключевые элементы этих документов, в том числе чертежи, авторов, математические расчеты, а также пароли доступа.

Необходимо отметить, что если даже путем социальной инженерии взломщик завладеет компьютером или жестким диском, где содержится засекреченная информация графическим методом, из-за новизны метода, а также способа «то, что хочешь спрятать, положи на виду», злоумышленник переройет все каталоги, он не обратит внимания на изображения в стандартной папке Windows или иной операционной системы.

В случае, когда о данном способе защиты информации станет известно широкому кругу лиц, то большое количество «пустышек», изображений на которых не будет скрыто никакой информации, создадут огромные временные затраты для поиска нужной информации. А учитывая тот факт, что, как правило, взломщики, которые пользуются социальной инженерией, ограничены во времени, они не смогут считать защищаемую информацию.

От халатности сотрудниками данный метод также имеет свои плюсы. В случае, если изображения со скрытой информацией будут вынесены за пределы предприятия на переносных носителях неумышленно, то вряд ли кто-то будет искать секретную информацию на изображениях, аналогий которых полно в интернете.

В случае же умышленной кражи сотрудник может украсть документ, внутри которого будут ссылки на отдельные изображения с ключевыми элементами документа. Во-первых, сотрудник вряд ли догадается скопировать все эти изображения, а во-вторых не сможет их расшифровать. В связи с чем, украденный документ будет бесполезен.

Можно подытожить, что данный способ защиты информации может предотвратить случайные и умышленные утечки информации, которые возникают из-за человеческого фактора. Кроме того, даже в случае технического взлома, злоумышленник столкнется с точно теми же проблемами поиска засекреченной информации, что и социальный инженер.

Данный способ защиты идеально подходит для защиты малых массивов информации, делая большие документы бесполезными без знания графического ключа.

Список литературы

1. *Грибунин В.Г., Чудовский В.В.*, «Комплексная система защиты информации на предприятиях», Москва, Академия, 2009.– 416 с.
2. *Касперский К.К.*, «Секретное оружие социальной инженерии», 2011. – 11с. Internet URL: http://34x.info/wp-content/uploads/2013/04/Крис-Касперски-Секретное-Оружие-Социальной-Инженерии.pdf

05.09.05

Т.А. Кузнецова, Е.А. Кулютникова, А.А. Рябуха

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

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ДИНАМИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ МЕТОДОМ ПРОСТРАНСТВА СОСТОЯНИЙ

В работе рассмотрена модификация метода пространства состояний для расчета переходных процессов в электрических цепях высоких порядков. Представлена методика идентификации цепи путем получения матриц связи с использованием резистивных схем замещения с источниками единичных воздействий.

Ключевые слова: *математическое моделирование, переходные процессы, идентификация характеристик, пространство состояний, матрицы связи.*

При проектировании сложных электротехнических устройств и сетей возникает необходимость решения задачи оптимизации динамических режимов их работы (в том числе аварийных). Оптимизация ведется на основе анализа переходных процессов, возникающих в таких системах под воздействием коммутационных и параметрических возмущений. Входные сигналы могут быть описаны различными математическими функциями как непрерывными, так и дискретными. Очевидно, что расчет динамических режимов в общем случае требует привлечения вычислительных средств, а анализ аварийных режимов целесообразно проводить методами математического моделирования.

Как известно, численные методы хорошо описаны, формализованы и реализованы в различных системах моделирования (MatLab, MathCad, Stratum и т.д.) [3,4]. Однако моделирование конкретного электротехнического устройства всегда является уникальной задачей и требует разработки дополнительных методов и средств.

В данной статье предлагается модификация известного метода пространства состояния [5] для моделирования поведения электротехнических устройств и систем, представляющих электрические цепи высоких порядков, в динамических (переходных) режимах.

Центральной проблемой моделирования является идентификация характеристик исследуемого устройства. Основной характеристикой электрической цепи (параметров и схемы соединения элементов) при ее анализе методом пространства состояний являются матрицы связи. В проведенном исследовании предлагается оригинальный метод определения матриц связи на основе расчета простейших резистивных схем замещения.

Задача идентификации электрической цепи на основе резистивных схем замещения в рамках моделирования ее реакций может быть решена различными способами. Например, хорошо изучен и описан метод синтетических схем, основанный на аппроксимации дифференциальных уравнений отдельных элементов цепи разностными уравнениями, которым в дальнейшем ставятся в соответствие активные резистивные схемы замещения [1]. Недостатком этого метода является необходимость определения для каждого момента времени значения переменных, описывающих распределение напряжений и токов в цепи, с целью расчета параметры системы алгебраических уравнений и ее последующего решения.

Расчет переходных процессов методом пространства состояний требует однократного решения задачи определения матриц связи, связывающих переменные состояния цепи, входные сигналы и ее реакции через рекуррентное уравнение, позволяющее легко автоматизировать процедуру численного решения задачи расчета переходных процессов [4].

Расчет переходных процессов методом пространства состояний основан на составлении n дифференциальных уравнений первого порядка относительно переменных состояния x_i, записанных в канонической форме или форме Коши. Основой для формирования системы

для линейной цепи служат линейные уравнения Кирхгофа и компонентные уравнения элементов цепи, поэтому такая система уравнений состояния является линейной и в матричной форме запишется:

$$\dot{X} = AX + BV, \quad (1)$$

$$Y = CX + DV, \quad (2)$$

где X, $\dot{X}$ – матрицы – столбцы переменных состояния цепи и их производных размерности $n\times1$, где n – порядок цепи; V – матрица – столбец входных сигналов размерности $m\times1$, где m – число входных функций; Y – матрица – столбец выходных величин (реакций) размерностью $l\times1$, где l – число выходных реакций; A, B, C, D – матрицы связи, размерности которых соответственно ($n\times n$), ($n\times m$), ($l\times n$), ($l\times m$).

Определение переменных состояния для исследуемой цепи ведется путем интегрирования дифференциальных уравнений (1). Нахождение выходных величин – с помощью решения алгебраических уравнений (2). В общем случае решение полученной системы уравнений может выполняться различными методами. Возможно аналитическое решение, как в области оригиналов, так и в области изображений по Лапласу, а также математическое моделирование [3]. Математическое моделирование, являющееся наиболее предпочтительным для сложных электротехнических устройств, имеющих сложные принципиальные схемы, основано на численном интегрировании полученных уравнений [4].

С ростом порядка электрической цепи автоматизация процесса получения матриц связи начинает играть не меньшую роль, чем дальнейшая процедура решения системы уравнений состояния.

Традиционная методология определения матриц A и B основана на записи полной системы уравнений Кирхгофа и их преобразования к совокупности n дифференциальных уравнений первого порядка в форме Коши, составленных относительно токов индуктивностей и напряжений на емкостях. Таким же образом совокупность l алгебраических уравнений Кирхгофа, выражающих в форме (2) выходные величины, определяют коэффициенты матриц C и D. Чтобы каждое уравнение, записанное по первому и второму законам Кирхгофа, было дифференциальным уравнением первого порядка относительно i_L и u_C, каждый контур и сечение должны содержать только один реактивный элемент. Этот путь рекомендуется использовать для простых электрических цепей, порядок которых не более трех.

В данной статье предлагается применение процедуры определения матриц связи для цепей любого порядка, не требующей предварительного составления уравнений Кирхгофа. Метод основан на свойствах элементов матриц связи, являющихся псевдопередаточными коэффициентами вспомогательных резистивных цепей.

Для иллюстрации методики нахождения коэффициентов матриц связи запишем для момента $t = 0^+$ систему уравнений (1,2) в форме (3).

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1(0) \\ \dot{x}_2(0) \\ \vdots \\ \dot{x}_n(0) \\ y_1(0) \\ y_2(0) \\ \vdots \\ y_l(0) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} \\ a_{21} \\ \vdots \\ a_{n1} \\ c_{11} \\ c_{21} \\ \vdots \\ c_{1l} \end{bmatrix} x_1(0) + \cdots + \begin{bmatrix} a_{1n} \\ a_{2n} \\ \vdots \\ a_{nn} \\ c_{1n} \\ c_{2n} \\ \vdots \\ c_{ln} \end{bmatrix} x_n(0) + \begin{bmatrix} b_{11} \\ b_{21} \\ \vdots \\ b_{n1} \\ c_{11} \\ c_{21} \\ \vdots \\ c_{l1} \end{bmatrix} v_1(0) + \cdots \begin{bmatrix} b_{1m} \\ b_{2m} \\ \vdots \\ b_{nm} \\ c_{1m} \\ c_{2m} \\ \vdots \\ c_{lm} \end{bmatrix} v_m(0). \quad (3)$$

Если в уравнении (4) попеременно полагать все начальные значения $x_1(0), \ldots, x_n(0), v_1(0), \ldots, v_m(0)$ равными нулю, кроме одного, приравниваемого единице, значения элементов расширенной матрицы $\dot{x}_1(0), \ldots, \dot{x}_n(0), y_1(0), \ldots, y_l(0)$ совпадут с

элементами соответствующего столбца матриц *A* и *C* либо *B* и *D*. Данное утверждение формирует алгоритм определения искомых матриц связи, основанный на принципе суперпозиции (метод наложения).

В исходной цепи выделяются источники воздействия (для определенности *k*), индуктивности (*q*) и емкости (*m*), затем строятся расчетные резистивные цепи, в которых удалены все источники воздействия (источники ЭДС замыкают накоротко, ветви с источниками тока размыкают) и реактивные элементы (оборваны ветви, содержащие индуктивности, и замкнуты накоротко емкости), кроме одного.

Эта цепь рассчитывается методом наложения. Сначала единичный источник тока включают поочередно *q* раз вместо каждой индуктивности, далее единичный источник напряжения включают поочередно *m* раз вместо каждой емкости. И, наконец, единичные источники напряжения и тока включаются поочередно *k* раз в ветви, где были расположены источники соответствующих воздействий v_i. при расчете каждой из таких вспомогательных схем определяются значения напряжений u_L, токов i_C и выходных величин *y*, которые удобно записывать в виде таблицы 1, содержащей искомые значения элементов матриц.

Таблица 1 – Матрицы связи

	i_{L1} .... i_{Lq}	u_{c1} .... u_{cm}	$V_1 \ldots V_k$
u_{L1} ... u_{Lq}	$L_1a_{11} \ldots L_1a_{1q}$ ... $L_qa_{q1} \ldots L_qa_{qq}$	$L_1a_{1(q+1)} \ldots L_1a_{1n}$ ... $L_qa_{q(q+1)} \ldots L_qa_{qn}$	$L_1b_{11} \ldots L_1b_{1k}$ ... $L_qb_{q1} \ldots L_qb_{qk}$
i_{c1} ... i_{cm}	$C_1a_{(q+1)1} \ldots C_1a_{(q+1)q}$ ... $C_ma_{n1} \quad \ldots C_ma_{nq}$	$C_1a_{(q+1)(q+1)} \ldots C_1a_{(q+1)n}$ ... $C_ma_{n(q+1)} \quad \ldots C_ma_{nn}$	$C_1b_{(q+1)1} \ldots C_1b_{(q+1)k}$ ... $C_mb_{n1} \quad \ldots C_mb_{nk}$
y_1 ... y_l	$C_{11} \quad \ldots \quad C_{1q}$ ... $C_{l1} \quad \ldots \quad C_{lq}$	$C_{1(q+1)} \quad \ldots \quad C_{1n}$ ... $C_{l(q+1)} \quad \ldots \quad C_{ln}$	$d_{11} \quad \ldots \quad d_{1k}$ ... $d_{l1} \quad \ldots \quad d_{lk}$

Замена реактивных элементов исходной схемы единичными источниками сохраняет топологию электрической цепи и позволяет использовать известные методы расчета разветвленных электрических цепей постоянного тока, отличающихся простотой алгоритмов формирования систем уравнений.

Предлагаемая модификация алгоритма расчета электрических цепей методом пространства состояний на основе разработанной процедуры идентификации их характеристик позволяет в значительной степени упростить расчет и повысить эффективность вычислений. Метод может найти широкое применение при анализе динамики многосвязных, многополюсных электротехнических устройств и сетей.

Список литературы

1. *Adaleva A.S., Hayakaw M., Korovkin N.V.* Identification of electric circuits: problems and methods of solution accuracy enhancement В сборнике: Proceedings - IEEE International Symposium on Circuits and Systems 2005, ISCAS 2005" 2005. С. 980-983.

2. *Кузнецова Т.А., Мухин О.И., Рябуха А.А.* Применение виртуальных образовательных технологий для повышения качества исследовательской подготовки студентов// «Интеграция образования». 2011. № 4. С. 3.

3. *Михалевич С.С., Байдали С.А., Чучалин И.П., Москалев В.А.* Алгоритм моделирования систем автоматического управления методом пространства состояний // Известия Тпу. 2012. №5. С.233-237.

4. *Римский В.К., Берзан В.П., Пацюк В.И.* Численное моделирование переходных и установившихся процессов в электрических цепях с переменными параметрами//«Проблемы региональной энергетики», 2008. №2.

05.12.13

Т.А. Кузнецова, П.В. Репп, В.Г. Кузнецов

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

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ CISCO UNIFIED WIRELESS NETWORK ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ КОРПОРАТИВНЫХ СЕТЕЙ

В статье рассмотрены особенности внедрения технологии Cisco Unified Wireless Network для развертывания беспроводных корпоративных сетей. Приведены характеристики сетей WLAN. Анализируется безопасность корпоративных беспроводных сетей на базе протокола 802.1X.

Ключевые слова: *корпоративные сети, беспроводные сети, безопасность, аутентификация, точка доступа (ТД), централизация*.

Беспроводные технологии – одна из наиболее быстро развивающихся областей отраслей IT-сферы. Современным трендом становится IT-консьюмеризация, основанная на принципе BYOD (Bring Your Own Device), в соответствии с которым в работу корпоративных информационных сетей (как правило, через WiFi) встраиваются личные электронные устройства пользователей [4]. Компаниям становятся необходимы не связанные ограничениями масштабируемые сети - с повсеместным беспроводным покрытием, поддерживающие, с одной стороны, мобильные услуги, позиционирование и системы обнаружения вторжений, с другой – упрощенный механизм развертывания и администрирования.

В этой связи актуальными задачами становятся: обеспечение надежной работы гетерогенной сети, предполагающей интеграцию устройств различных производителей; обеспечение информационной безопасности и мобильности пользователей (что предполагает применение надежных протоколов аутентификации); унификация протоколов работы беспроводных и проводных корпоративных сетей.

Анализ современного состояния развития IT-сферы показал, что решение поставленных задач возможно на основе унифицированных сетей WLAN, предоставляющих возможности: динамического контроля состояния оборудования в реальном времени; масштабирования сети; поиска и устранения неисправностей; устранение неполадок подключения к Internet (troubleshooting); автоматической конфигурации и оптимизации.

Эффективной платформой для создания унифицированных сетей WLAN на платформе стандарта широкополосной беспроводной сети связи семейства 802.11 является технология Cisco Unified Wireless Network [2], объединяющая проводные и беспроводные сети. Построенные на ее основе корпоративные сети имеют следующие характеристики:

– современный стандарт широкополосной беспроводной связи 802.11, стандарт 802.1X, определяющий протокол контроля доступа и аутентификации, защищенный доступ Wi-Fi (WPA), WPA2, усовершенствованный стандарт шифрования (AES) и возможность развертывания виртуальных частных сетей мобильной связи (VPN);

– надежная система предотвращения вторжений в сеть WLAN (IPS) для обнаружения и снижения риска доступа с помощью посторонних устройств, незарегистрированных клиентских устройств и других сетей;

– надежная защита от атак с помощью приложения Network Admission Control (NAC - контроль доступа в сеть), которое позволяет гарантировать, что все проводные и беспроводные оконечные устройства, имеющие доступ к сетевым ресурсам, защищены от внешних вторжений надлежащим образом;

– синхронное отслеживание в режиме реального времени состояния безопасности нескольких тысяч устройств Wi-Fi, информационных ресурсов, баз и банков данных.

Обеспечение надежной работы устройств различных производителей в корпоративной сети основано на применении механизма централизации унифицированной архитектуры Cisco Unified Wireless Network, осуществляющей доставку данных от облегченной точки доступа (ТД) к централизованному устройству - контроллеру беспроводной локальной сети [1, 2]. Эффективную централизацию обеспечивают автономные контроллеры корпоративного класса для беспроводных локальных сетей (БЛС), полностью интегрируемые в сетевую инфраструктуру: Cisco Wireless LAN Controller серии 5500 и 2500, модули Wireless Services Module (WiSM) для коммутатора Cisco Catalyst серии 6500 и Cisco Wireless LAN Controller Module (WLCM) для маршрутизаторов с интегрированными сервисами.

Транспорт данных и обеспечение связи между облегченными ТД и контроллером БЛС осуществляется с помощью протокола Lightweight Access Point Protocol (LWAPP), поддерживающего информацию о пакетах 2 и 3 уровня модели OSI, имеющего характеристики:

– простота внедрения: вместо подключения каналов виртуальных локальных беспроводных сетей VLAN (Virtual Local Area Network) к централизованным контроллерам преодолеваются границы подсетей;

– безопасность внедрения: физическое подключение ТД к сети не означает получения полного доступа, для аутентификации применяется специальный протокол;

– контроль в реальном времени за работой ТД: после установки ТД, прохождения аутентификации и подключения к контроллеру для управление ее функциональностью в реальном времени и развертыванием мобильных услуг применяется специальный протокол;

– расширяемость протокола: этот протокол должен работать на огромном количестве платформ, начиная от модулей, установленных в шасси крупных коммутаторов Ethernet, до объединяемых в стек устройств, маршрутизаторов и любых других сетевых элементов.

– расширяемость транспорта: несмотря на то, что сети обычно работают по каналам Ethernet, этот протокол должен «уметь» работать по низкоскоростным соединениям WAN и по беспроводным каналам (например, в случае ячеистой (Mesh) беспроводной сети).

Принцип работы протокола иллюстрируется Рисунком 1.

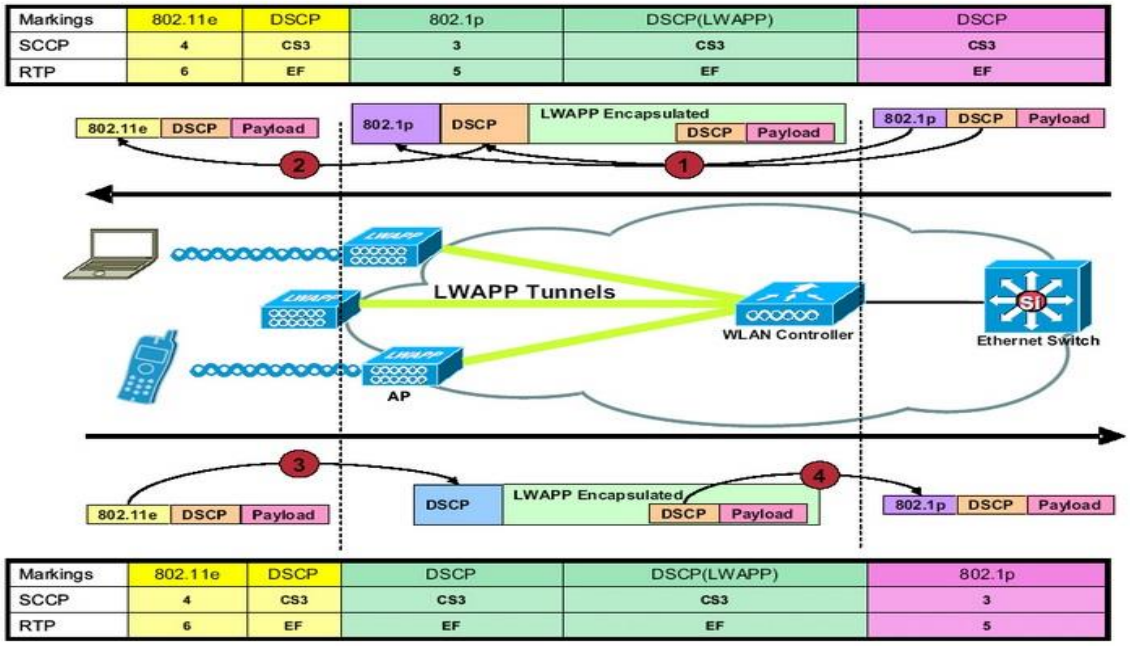


Рис. 1 - Принцип работы протокола LWAPP

LWAPP стандартизирует протокол связи между облегченными ТД, с одной стороны, и системами WLAN, такими как контроллеры, коммутаторы и маршрутизаторы – с другой. Спецификация LWAPP решает эти задачи посредством регламентирования процедур: обнаружения ТД, обмена информацией и настройки; сертификации ТД и программного управления;

– инкапсуляции, фрагментации и форматирования пакетов; управление связью между ТД и беспроводными контроллерами.

Применение LWAPP обеспечивает:

– сокращение объема вычислений на ТД, что позволяет сконцентрировать вычислительные ресурсы последних исключительно на организации беспроводного доступа и освободить их от такой нагрузки, как фильтрация и применение политик;

– обеспечение централизованной обработки трафика, аутентификации, шифрования и соблюдениям политик для всей системы WLAN;

– обеспечение универсального механизма инкапсуляции и транспорта для достижения совместимости между ТД различных производителей, использующих инфраструктуру уровня 2 и маршрутизируемые сети IP.

Проведенная апробация рассмотренных подходов для решения задачи проектирования беспроводной корпоративной сети для управляющей компании «ЭКС» (Пермский край) показала, что платформа Cisco Unified Wireless Network обеспечивает оптимальность конфигурации сети, эффективность работы и необходимую безопасность. В разработанной сети для аутентификации по 802.1X может быть использован RADIUS, на платформе Cisco Secure Access Control Server (ACS), Windows Server и т.д. [3].

Особенности использования Cisco Unified Wireless Network в рамках 802.1X-аутентификации для разработанной в рамках реализованного проекта корпоративной сети иллюстрируются на Рисунке 2.

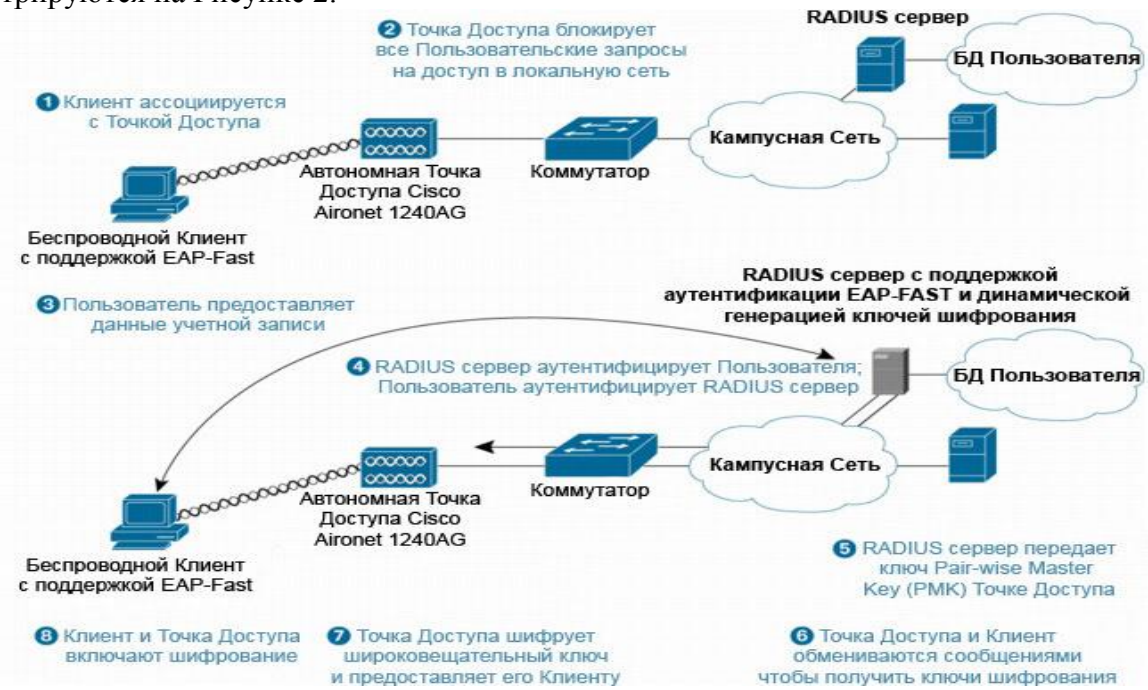


Рис.2 – Применение Cisco Unified Wireless Network

Применение 802.1X-аутентификации, позволяющее аутентифицировать клиентскую станцию на основе вводимых пользователем данных, а не физических атрибутов клиентского устройства, дает возможность понизить риск, связанный с потерей устройства или его сетевой карты WLAN, снизить опасность появления «посредника» («man-in-the-middle») при аутентификации, обеспечивает централизованное управление шифрованием ключей с ротацией ключей на базе установленной политики, защиту от атак, осуществляемых методом перебора ключей (brute-force).

Таким образом, опыт применения показал, что технология Cisco Unified Wireless Network является эффективным средством проектирования, развертывания и эксплуатации надежной, защищенной масштабируемой корпоративной беспроводной сети WLAN со встроенными алгоритмами управления радиочастотной средой в реальном времени, предоставляющей возможность дальнейшего расширения и модернизацию.

Список литературы

1. IEEE Standard for Information technology-Telecommunications and information exchange between systems-Local and metropolitan area networks-Specific requirements — Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications. URL: http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.11-2007.pdf
2. Архитектура построения сетей Cisco Unified Wireless Network. URL: http://www.cisco.com/web/RU/netsol/ns340/ns394/ns348/ns337/networking_solutions_package.html
3. *Педжман Рошан, Джонатан Лиэри.* Основы построения беспроводных локальных сетей стандарта 802.11. Практическое руководство по изучению, разработке и использованию беспроводных ЛВС стандарта 802.11. – М.: Cisco Press, Издательский дом «Вильямс», 2004 г., 302 с.
4. *Черняк Л.* Серьезная консьюмеризация//«Открытые системы», № 03, 2012/ URL: http://www.osp.ru/os/2012/03/13015150/

05.09.12

А.Е. Лысенков, Н.Н. Беспалов

Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва,
факультет электронной техники, кафедра автоматики,
г. Саранск, lysenkov87@mail.ru

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОВОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ СИЛОВЫХ МДП-ТРАНЗИСТОРОВ С ИНДУЦИРОВАННЫМ КАНАЛОМ

В статье рассматривается методика определения теплового сопротивления переход-корпус МДП-транзисторов с индуцированным каналом. Предложено использовать в качестве термочувствительного параметра напряжение сток—исток. Описан процесс калибровки температурной зависимости данного параметра.

Ключевые слова: *МДП-транзистор, тепловое сопротивление, термочувствительные параметры.*

Срок службы силового МДП-транзистора с индуцированным каналом (далее — МДП-транзистора) напрямую зависит от теплового режима, в котором он эксплуатируется. Выбор штатного теплового режима — сложная инженерная задача, требующая комплексной оценки различных параметров прибора. Как правило, для данной операции используются усредненные или предельные значения параметров из паспортной документации транзистора, что искажает представление о его реальных возможностях. Причиной этого является технологический разброс электрических и тепловых параметров полупроводниковых приборов, неизбежно возникающий при их производстве, который оказывает существенное влияние на протекающие в приборах электротепловые процессы. Таким образом, для наиболее эффективного использования МДП-транзисторов необходимо осуществлять контроль их электротепловых параметров.

Одним из наиболее важных параметров МДП-транзистора при выборе штатного режима работы является тепловое сопротивление переход-корпус R_{thjc}, определяемое по формуле:

$$R_{thjc} = \frac{T_j - T_C}{P}, \qquad (1)$$

где T_j - температура кристалла, T_C - емпература корпуса, P - постоянная рассеиваемая прибором мощность.

Данный параметр напрямую связан с качеством изготовления МДП-транзистора, вследствие чего может быть использован при отбраковке потенциально ненадежных приборов [3].

Большинство современных способов определения R_{thjc} обладают либо низкой производительностью, либо низкой точностью. Низкая производительность обусловлена, как правило, необходимостью предварительной калибровки температурной зависимости термочувствительного параметра, осуществляемой в термостате. Существуют способы, не требующие, калибровки. Однако такие способы зачастую предполагают использование усредненной температурной зависимость и термочувствительного параметра, что неизбежно снижает точность определения R_{thjc}.

Предлагаемая авторами методика определения R_{thjc} реализуется следующим образом. В процессе измерительного цикла данного способа измеряются электрические информационные параметры и температура корпуса испытуемого прибора (ИП). Затем определяются производные от информативных параметров параметры вольт-амперной характеристики, а также их функциональные зависимости от температуры.

Основными информативными параметрами при определении R_{thjc} являются температура корпуса ИП T_C, ток I_D, протекающий через ИП, и напряжение сток—исток U_{DS}. Измерение этих информативных параметров не вызывает трудностей. Основная проблема при определении R_{thjc} возникает из-за необходимости измерения температуры кристалла T_j. Это связано с тем, что кристалл находится внутри корпуса ИП, и непосредственно измерить этот параметр не представляется возможным. Определение T_j полностью изготовленного прибора практически всегда осуществляется косвенными методами. Наиболее простым является способ определения значения T_j по статическому параметру вольт-амперной характеристики прибора, имеющему либо линейную температурную зависимость, либо температурную зависимость, которую можно привести к линейному виду. В частности, температурная зависимость прямого падения напряжения сток-исток, снятая при заданном постоянном токе имеет нелинейный характер, однако в логарифмическом масштабе зависимость приобретает линейный вид [1, 2].

Температура T_j определяется следующим образом:

$$T_j = T_{j0} + \Delta T_j, \tag{2}$$

где T_{j0} - температура в начальном состоянии; ΔT_j - перегрев.

Учитывая то, что $\lg(u_j)$ имеет линейную зависимость от температуры, значение T_j определится как:

$$\Delta T_j = \frac{\Delta \ln(U_{DS})}{TK \ln(U_{DS})}, \tag{3}$$

где $\Delta \ln(U_{DS}) = \ln(U_{DSh}) - \ln(U_{DS0})$, U_{DSh} - значение напряжения на ИП в нагретом состоянии, U_{DS0} - значение напряжения на ИП, которое определяется при начальной температуре T_{j0}, $TK \ln(U_{DS})$ - температурный коэффициент логарифмированного напряжения сток—исток.

Подставляя (3) в (2), получим выражение для определения температуры ПС в нагретом состоянии в виде:

$$T_j = T_{j0} + \frac{\Delta \ln(U_{DS})}{TK \ln(U_{DS})}, \tag{4}$$

Таким образом, особенностью объективного определения температуры ПС конкретного прибора по формуле (4) является точное измерение и определение трех основных параметров — начальной температуры кристалла T_{j0} до испытания, которую в состоянии исходного теплового равновесия можно считать равной начальному значению температуры корпуса T_C, напряжений на ИП U_{DSh} и U_{DS0}, и $TK \ln(U_{DS})$. Точное измерение дискретных значений напряжений на ИП U_{DSh} и U_{DS0} в ходе испытаний не представляет особых технических трудностей. Не представляет трудностей и измерение с достаточной точностью температуры T_C.

Для объективного определения T_j важным является точное определение $TK \ln(U_{DS})$ конкретного МДП-транзистора. Это обуславливается тем, что $TK \ln(U_{DS})$ МДП-транзисторов даже одного типа, определяемые при одинаковых режимах испытания, могут существенно различаться из-за различных отклонений технологического процесса изготовления.

Определение $TK \ln(U_{DS})$ сводится к измерению двух напряжений в открытом состоянии при протекании тестового тока для двух различных априорно известных температурах кристалла. Затем по полученным данным определяется $TK \ln(U_{DS})$ по следующей формуле:

$$TK\ln(U_{DS}) = \frac{\ln(U_{DSh}) - \ln(U_{DS0})}{T_{jh} - T_{j0}}, \quad (5)$$

При испытании прибора первую температурную точку T_{j0} возможно определить, измерив температуру T_C до начала нагрева. Температура кристалла будет соответствовать температуре корпуса МДП-транзистора, так как прибор находится в состоянии теплового равновесия между всеми элементами конструкции, и отсутствуют внутренние источники нагрева. Напряжение U_{DS0} измеряется при протекании тестового тока, амплитуда и длительность которого не приводит к разогреву ПС.

Вторую температурную точку T_{jh} возможно получить после окончания нагрева ИП. После отключения греющего тока температура кристалла выше температуры корпуса ИП. В свою очередь, тепловая постоянная времени кристалла τ_j существенно меньше, чем тепловая постоянная времени корпуса τ_C ИП. Следовательно, через промежуток времени (3–5)τ_j температура полупроводниковой структуры будет примерно равна температуре корпуса ИП. Измеряя температуру корпуса ИП после окончания переходного теплового процесса в полупроводниковой структуре, возможно получить вторую температурную точку T_{jh} и измерить U_{DSh} при том же тестовом токе, что и в первом случае.

Таким образом, процесс определения R_{thjc} прибора заключается в выполнении двух последовательных этапов испытания. На первом этапе через МДП-транзистор пропускается греющий ток, и периодически измеряются T_C и U_{DS}. Осуществляется мониторинг за выделяемой прибором мощностью P. При достижении температурой корпуса заданного значения $T_{C\max}$ греющий ток отключается. При сравнении T_C и T_j измеряются дополнительные значения информативных параметров для определения $TK\ln(U_{DS})$. На втором этапе на основе информации об информативных параметрах производятся вычисления определяемых электрических и тепловых характеристик и параметров. Все эти этапы производятся за один испытательный цикл. R_{thjc} рассчитывается как:

$$R_{thjc} = \frac{\dfrac{\ln(U_{DSh}) - \ln(U_{DS0})}{TK\ln(U_{DS})} + T_{j0} - T_{C\,MAX}}{P}. \quad (6)$$

При проектировании преобразователей на основе МДП-транзисторов ввиду практического отсутствия объективной информации о параметрах и характеристиках приборов закладываются такие технические решения, которые изначально приводят к снижению эффективности их применения.

Получение расширенной информации о параметрах и характеристиках МДП-транзисторов на всех стадиях жизненного цикла приборов позволит существенно повысить их качество и эффективность применения. Кроме того, проведение сплошного контроля электротепловых параметров МДП-транзисторов и выявление потенциально ненадёжных приборов позволит существенно снизить интенсивность их отказов в преобразователях.

Список литературы

1. *Беспалов Н.Н.* Метод определения и расчета вольтамперных характеристик мощных МДП-транзисторов при различных температурных режимах / Н.Н. Беспалов, А.Е. Лысенков, С.В. Лебедев // Электроника и электрооборудование транспорта. – 2012. – №2-3. – С. 48–50.

2. *Беспалов Н.Н.* Сравнительный анализ термочувствительных параметров мощных МДП-транзисторов / Н.Н. Беспалов, А.Е. Лысенков // Электроника и информационные технологии – 2011 выпуск 2 (11). – 2012. URL: http://fetmag.mrsu.ru/2011-2/pdf/thermosensitive_parameters.pdf (дата обращения 06.02.2012) — 04201100067/0028.

3. *Сергеев В.А.* Контроль качества мощных транзисторов по теплофизическим параметрам / В.А. Сергеев // Ульян. гос. техн. ун-т. – Ульяновск: УлГТУ, 2000. — 253 с.

05.11.13

Ф.Н. Мирсаитов, Л.А. Гимадеева, В.В. Болознев

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева,
институт радиоэлектроники и телекоммуникаций,
кафедра радиоэлектронных и квантовых устройств,
Казань, fanis.mirsaitov@gmail.com

СПЕКТР ПРИ РАДИОВОЛНОВОЙ ВИБРОДИАГНОСТИКЕ РОТОРА ГАЗОТУРБИННОГО АВИАДВИГАТЕЛЯ

Найдены радиочастотный, рабочий (эталонный) и вибрационный спектры отклика при радиоволновом зондировании лопаток турбины высокого давления. Установлены диагностические возможности радиоволнового метода.

Ключевые слова: *турбина, лопатка, виброспектр, диагностический отклик.*

В работе [1] показано, что о неисправностях труднодоступных для функциональной диагностики узлов проточного тракта газотурбинного двигателя (далее, ГТД) можно судить по изменению виброспектров узлов более доступных. Широкий спектр вибраций [2] и установление «предсказательной» ценности быстрых случайных процессов в двигателях [3] побуждает к поиску новых диагностических средств.

Определённые возможности здесь представляют методы ближней радиолокации, в подобных приложениях называемые радиоволновыми.

Суть предлагаемого способа состоит в возбуждении в объёме проточного тракта электромагнитных полей (далее ЭМП), структура и спектр которых подвержены влиянию регулярных (вращение), и случайных (вибрационных) перемещений узлов ротора. Возбуждение ЭМП осуществлено антенной, установленной вместо заглушки окна для стендового бороскопического осмотра узлов ротора, включая лопатки турбины или компрессора.

Антенна в свою очередь возбуждается СВЧ генератором, в конструктивном объединении с ней образующими датчик, причём её проводимость и отражение сигнала зависят от конфигурации, и перемещения деталей ротора. Спектр отражённого сигнала является диагностическим параметром (откликом). Диагностический признак – различие эталонного (допустимого) и реального спектров.

Установим сначала структуры двух эталонных спектров – радиочастотного и рабочего. Последний отображает циклический процесс формирования откликов на прохождение лопаток вблизи антенны с пересечением (и возмущением) ЭМП. Здесь частота рабочего процесса

$$F_{\text{И}} = \frac{F_{\text{об}} \cdot n}{60} = F_{\text{В}} \cdot n,$$

где $F_{\text{об}}, F_{\text{В}}$ – число оборотов (об/мин) и частота вращения (Гц) ротора, n – число лопаток ротора турбины. Порядок величины у современных ГТД – несколько килогерц. В обобщении форма парциального отклика и последовательности показаны на рисунке 1.

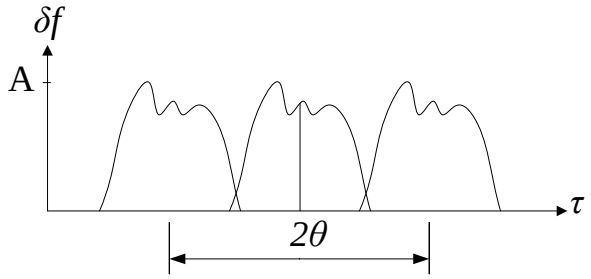


Рис. 1 – Последовательность парциальных откликов

Спектр подобной последовательности имеет общеизвестные аналоги в радиотехнике и при идентичности импульсов представляет совокупность дискретных компонентов с частотами $m \cdot F_И$ $(m = 1,2,3 \ldots)$. В нашем случае этот процесс модулирует радиочастотное колебание, которое и является первичным диагностическим откликом. Число значимых компонентов m и их амплитуды определяются формой лопаток, а также (но в меньшей мере) типом антенны, и её расположением, то есть структурой ЭМП. Оба спектра представлены на рисунках 2, 3.

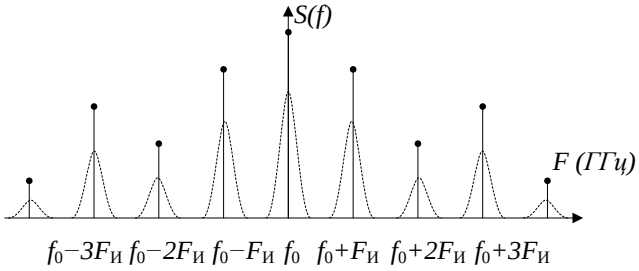


Рис. 2 – Спектр радиочастотного отклика

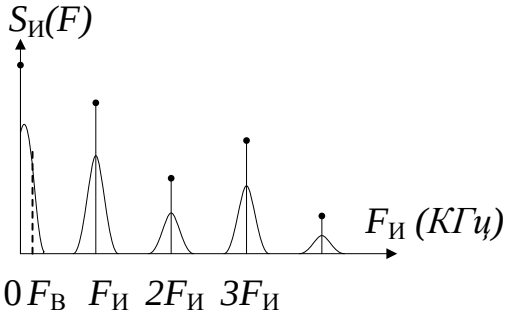


Рис. 3 – Спектр частот рабочего процесса

Для отыскания величины спектральных компонентов воспользуемся упомянутой аналогией. Аппроксимируем восходящий участок импульсного отклика в пределах $(-\theta_1, 0)$ полуволновым отрезком косинусоиды $\cos\theta = \cos(\omega t) = \cos\tau$, где $\omega = 2\pi \cdot F_И \cdot t$, τ – безразмерны.

Нисходящий участок аппроксимируем суммой двух процессов: нисходящей ветвью косинуса с медленной фазой $p\tau$ $(p < 1)$ и колебанием с быстрой фазой $q\tau$ $(q > 1)$, имеющим амплитуду $\mu \ll 1$. Оба процесса происходят в пределах фазового угла θ_2.

Теперь отклик антенны аппроксимирован совокупностью

$$a(\tau) = \begin{cases} 0{,}5 \cdot A \cdot (\cos\tau - \cos\theta_1), & \tau \in (-\theta_1, 0) \\ 0{,}5 \cdot A \cdot (\cos\theta_1 - \cos(p\tau) + \mu \cdot \cos(q\tau)), & \tau \in (0, \theta_2) \end{cases}$$

В радиотехнике количественная оценка спектральных компонентов даётся коэффициентами Фурье

$$\gamma_n(\theta_{1,2}, p, q, \mu) = \frac{1}{\pi A} \cdot \int_{-\theta_1}^{0} a(\tau) \cos n\tau \, d\tau$$

либо коэффициентами формы $g_Н = \gamma_n / \gamma_0$.

В радиотехнических аналогах аппроксимация более простая, а результаты интегрирования дают компактные выражения. Поэтому здесь приведём значения двух основных компонентов: постоянной составляющей и амплитуды первой гармоники.

$$\gamma_0(\theta_{1,2}, p, q, \mu) = \frac{1}{\pi} \cdot (\sin\theta_1 - \theta_1 \cdot \cos\theta_1) + \frac{1}{\pi \cdot p} \cdot (\sin\theta_2 - \theta_2 \cdot \cos\theta_2) + + \frac{\mu}{2\pi \cdot q} \cdot (\sin\theta_2 - \theta_2 \cdot \cos\theta_2),$$

$$\gamma_1(\theta_{1,2}, p, q, \mu) = \frac{1}{\pi} \cdot \sin(2 \cdot \theta_1) + \frac{1}{\pi \cdot p} \cdot \sin(2 \cdot \theta_2) + \frac{\mu}{2\pi \cdot q} \cdot \left[\frac{\sin((q+1) \cdot \theta_2)}{q+1} - - \frac{\sin((q-1) \cdot \theta_2)}{q-1}\right].$$

Численные значения сведём в таблицу 1:

Таблица 1 – Коэффициенты Фурье-разложения спектра отклика

$\theta_1 = \frac{\pi}{2}, \theta_2 = \frac{3}{2} \cdot \pi, p = 0{,}25$					$\theta_1 = \frac{\pi}{4}, \theta_2 = \frac{3}{4} \cdot \pi, p = 0{,}125$			
μ	0,25		0,5		0,25		0,5	
q	3	5	3	5	3	5	3	5
γ_1	1	0,97	0,94	0,91	1	0,96	0,95	0,92
γ_2	0,08	0,13	0,11	0,15	0,14	0,19	0,18	0,21
γ_3	-0,03	-0,05	-0,044	-0,062	0,04	0,053	0,07	0,074
g_1	1	0,95	0,96	0,92				
g_2	0,08	0,084	0,1	0,11				
g_3	-0,2	-0,35	0,04	0,06				

Спектр эталонного радиочастотного (далее, РЧ) отклика (рис. 2) показан спектральными линиями. Он, как уже сказано, аналогичен спектрам в радиотехнике [4]. Но там компоненты $\gamma_{2,3,\ldots} = 0$. У нас же они несут диагностическую информацию, хотя собственно РЧ спектр для диагностики неудобен. Поэтому спектр событий (в радиотехнике его называют поднесущим; он формируется специальным генератором) формирует ротор. Он является результатом детектирования, в нашем случае – частотного, радиочастотного отклика. Эталонный вариант представлен на рисунке 4.

Перейдём от эталонного к реальному диагностическому спектру. Любая нерегулярность в функционировании ротора (не только лопаток), порождённая дефектами конструкции или режиме, вызывает либо изменение соотношения амплитуд (коэффициентов γ_n), либо появлением дополнительных дискретных компонентов, либо размыванием существующих. На рисунке 3 это показано огибающими.

Дополнительные компоненты могут быть вызваны рядом причин, в частности, биениями вала и поломкой отдельных лопаток. В обоих случаях появившийся компонент имеет частоту $F_{\text{В}}$. Различить причины несложно: поломка лопатки проявляется на одном рабочем колесе, а биение – на всех.

Спектр событий образован совокупностью регулярных и случайных процессов четырёх видов, порождённых пятью причинами (табл. 2).

Таблица 2. Диагностические отклики и их причины

Причина	Отклик
1. Частота вращения вала. 2. Биение вала. 3. Деформация лопаток. 4. Вибрация лопаток. 5. Поломка лопаток.	1. Изменение интервала $F_{\text{И}}$. 2. Компонент $F_{\text{В}}$ на нескольких РК. 3. Изменение величины γ_n. 4. Размывание спектральных линий. 5. Компонент $F_{\text{В}}$, но меньшей амплитуды и наблюдаемый на одном РК.

Виброотклик *4* удобнее диагностировать после вторичного детектирования, результат которого представлен на рисунке 4.

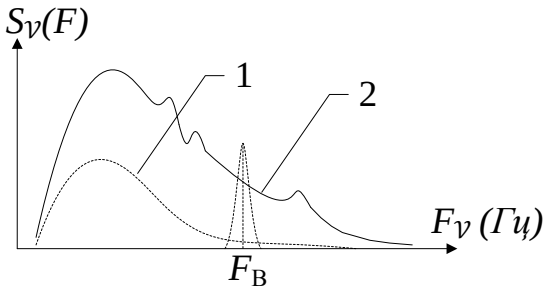


Рис. 4 – Спектры виброотклик*ов*. *1* – эталонный, *2* – реальный

Полученные результаты подтверждают предположение, что функциональные возможности радиоволновых методов вибродиагностики позволяют обнаружить в условиях полёта от трети до половины неисправностей в узлах ротора ГТД в доаварийной стадии. Для этого не требуется никаких конструктивных изменений двигателя.

Для вынесения уверенного прогноза необходимо ещё два этапа исследований: оценка помеховой ситуации с разработкой мер подавления помеховых откликов и набор статистических данных о виброспектрах в эксплуатируемых, и новых ГТД.

Список литературы

1. *Якобсон П.П.* Особенности вибрационной диагностики газотурбинных установок [Электронный ресурс] // Литература: доклады, 2003. – URL: http://www.vibrotek.ru/russian/biblioteka/21 (дата обращения 01.06.2013).
2. *Барков А.В., Баркова Н.А.* Интеллектуальные системы мониторинга и диагностики машин по вибрации [Электронный ресурс] // Литература: статьи и книги по диагностике, 1999. – URL: http://www.vibrotek.ru/russian/biblioteka/book16 (дата обращения 01.06.2013).
3. *Пригожин И., Кондепуди Д.* Современная термодинамика. От тепловых двигателей до диссипативных структур. – М.: Мир, 2002. – 464 с.
4. Генерирование колебаний и формирование радиосигналов: учебное пособие; [под ред. В.Н. Кулешова, Н.Н. Удалова, В.М. Богачева]. – М.: Изд. дом МЭИ, 2008. – 416 с.

05.11.13

Ф.Н. Мирсаитов, С.С. Сулейманов, В.В. Болознев

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева,
институт радиоэлектроники и телекоммуникаций,
кафедра радиоэлектронных и квантовых устройств,
Казань, fanis.mirsaitov@gmail.com

СПОСОБ РАДИОВОЛНОВОЙ ВИБРОДИАГНОСТИКИ РОТОРА ГАЗОТУРБИННОГО АВИАДВИГАТЕЛЯ

Способ включает возбуждение электромагнитного поля в окрестности диагностируемого узла ротора. Установлена зависимость электрических параметров антенны, возбуждающее поле, от виброперемещений деталей ротора – лопаток компрессора или турбины.

Ключевые слова: *функциональная диагностика, газотурбинный двигатель, радиоволновой метод.*

Функциональное (в особенности бортовое) диагностирование газотурбинного двигателя (далее ГТД) затруднено вследствие и недостаточных контролепригодности объекта, и контролеспособности диагностической аппаратуры. К числу наименее доступных относится проточный тракт, в частности узлы ротора компрессора и турбины [1].

Диагностическая информация в значительном объеме может быть получена при использовании следующих обстоятельств:

1. Автором [2] в стендовых экспериментах доказано, что до половины (17 из 35) дефектов в восьми узлах ротора могут быть выявлены в докритическом состоянии по виброспектрам.
2. Разработчиками устойчивых к пламёнам СВЧ радиоволновых датчиков электронной концентрации [3] и плотности теплового потока [4] в камерах ЖРД замечены доступные для регистрации отклики на наличие и перемещение в камере металлических деталей.
3. В статорах отечественных и зарубежных ГТД имеются отверстия (штуцеры) для визуального (бороскопического) осмотра на стенде состояния деталей роторов, в частности, лопаток. В штатном режиме эти отверстия заглушены, однако пригодны для установки названных выше датчиков так, что раскрыв невыступающей антенны обращён вовнутрь диагностируемого объёма (камеры).

Авторы ставят задачу построения диагностической системы, использующей перечисленные предпосылки. Цель данного этапа работы: выявление свойств и установление диагностической ценности виброотклико названных и модифицированных СВЧ датчиков на регулярные и аномальные факторы в роторах ГТД.

Диагностический принцип предполагает возбуждение в проточном тракте зондирующего электромагнитного поля (далее ЭМП). Формирование диагностического отклика осуществляется в своего рода полузамкнутой (для ЭМП) «камере», образуемой, например, элементами конструкции первой ступени турбины высокого давления. В продольном по потоку сечении эта «камера» ограничена внешним и внутренним корпусом статора; в поперечном сечении – несколькими движущимися и вибрирующими лопатками соседних: первой, второй ступеней, а также парой лопаток соплового аппарата статора – все это образует полупрозрачные для радиоизлучения диагностическое окно.

Датчик с чувствительным элементом в виде СВЧ антенны в реализации предложенного способа размещён в существующем смотровом (не задействованном в полёте) окне. Генератор зондирующего излучения закреплён на внешней стороне стенки. В остальном датчик по принципу действия и конструкции подобен [3,4].

Размеры статьи позволяют описать только первые этапы – формирование отклика, возбуждение ЭМП и преобразование перемещения лопаток в комплексное сопротивление чувствительного элемента датчика, и далее, в коэффициент отражения. Последующие этапы аналогичны (хотя и не идентичны) происходящим в прототипах.

В качестве метода исследования выбрано численное электромагнитное моделирование с использованием программного продукта FEKO.

Один из методов FEKO – метод моментов предусматривает:

– замену металлических элементов эквивалентными электрическими токами;
– «возбуждение» среды в объёме «камеры» этими токами;
– наложение граничных условий;
– разбиение проводящих поверхностей на элементарные площадки, размер которых не превышает $L = \lambda/8$, где λ – длина волны ЭМП.
– составлением систем линейных алгебраических уравнений для этих токов;
– решение уравнений.

Таким путём обеспечивается отыскание токов на поверхности антенны (с учётом влияния стенок и окон), затем – комплексного сопротивления антенны и, наконец, комплексного коэффициента отражения. Дальнейшее формирование отклика хорошо известно в ближней радиолокации, состоит в изменении частоты генерации, и вычисляется методами теории колебания.

Выделены и исследованы следующие варианты формирования отклика: элементарный, групповой и аномальный. Аргументом является функция угла поворота ротора. Этот параметр удобен, поскольку легко преобразуется в пространственную или временную координату. Варьируемыми параметрами выбраны зондирующая частота, тип и размеры антенны (ограниченные диаметром смотровых окон), и возбуждающего волновода.

В первом случае смоделировано угловое перемещение лопатки в пределах ±12°, и вне пределов диагностического окна. Эта ситуация практически нереализуема, но позволяет сопоставить результаты с работой [5]. Главное здесь – различие фазы коэффициента отражения исправной и «закрученной» при вибрации лопаток (рис. 2). Результаты получены при зондирующих частотах 28…48 ГГц, с оптимумом на 37,5 ГГц ($\lambda = 8$ мм).

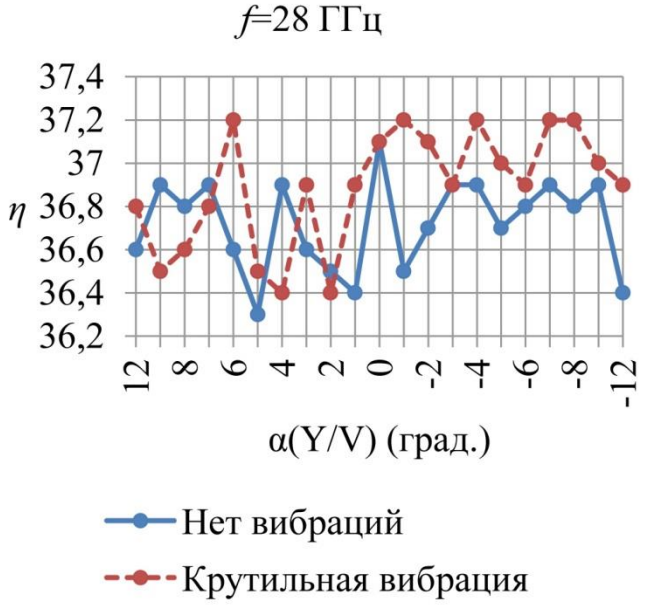


Рис. 2 – Фаза коэффициента отражения элементарного отклика

Во втором случае групповой отклик имитирует в квазистатическом приближении реальный процесс, когда диагностическое окно «зашторено» группой лопаток (рис. 3), и имеет место малый поворот ротора (0,25°).

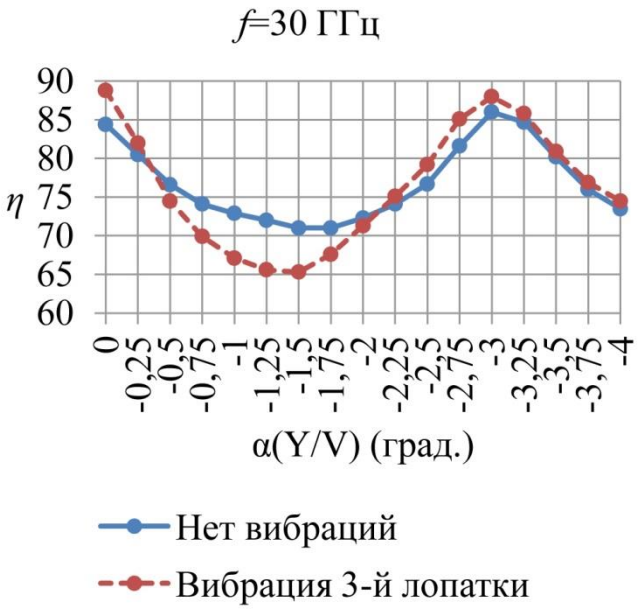


Рис. 3 – Фаза коэффициента отражения группового отклика

Третий случай – формирование аномального отклика, позволяет сделать предварительное заключение о контролеспособности предложенного способа диагностики. Здесь диагностический эффект отображён различием трасс (рис. 4). Как при поломке, так и при вибросмещении лопатки эффект наблюдаем.

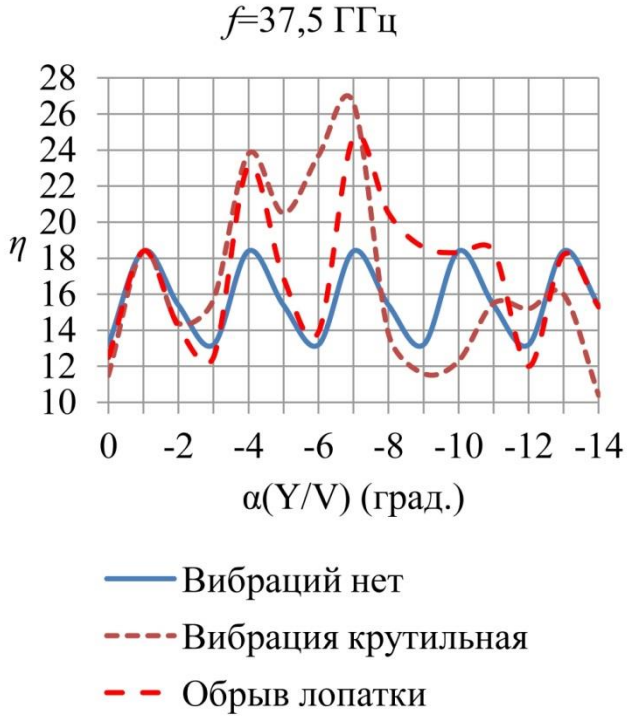


Рис. 4 – Фаза коэффициента отражения аномального отклика

Однако в реальной диагностической ситуации форма радиосигнала – неудобный параметр. Ответ на вопрос может дать спектральный анализ в сопоставлении с серьёзным массивом статистических данных не только о неисправностях, но и о помеховых факторах, как результатах воздействия на датчик побочных явлений в ГТД.

Список литературы

1. *Кеба И.В.* Диагностика авиационных газотурбинных двигателей. – М.: Транспорт, 1980. – 247 с.
2. *Якобсон П.П.* Особенности вибрационной диагностики газотурбинных установок [Электронный ресурс] // Литература: доклады, 2003. – URL: http://www.vibrotek.ru/russian/biblioteka/21 (дата обращения 01.06.2013).
3. *Болознев В.В., Чабдаров А.Ш.* Датчик диэлектрической проницаемости потока ионизированного газа // Приборы и техника эксперимента. – 1992., № 5. – С. 149-152.
4. *Станченков М.А.* СВЧ датчик плотности теплового потока: дис. канд. техн. наук. – Казань, 2012. – С. 95-98.
5. *Zielinski, M., Ziller, G.* Noncontact Crack Detection on Compressor Rotor Blades to Prevent Further Damage after HC-Failure // RTO MP-AVT-121 Meeting Proceedings, NATO. – 2005. – P. 19/1-19/10.

05.23.17

В.Л. Мондрус, В.А. Смирнов

ФБГОУ ВПО Московский Государственный Строительный Университет (НИУ),
Москва, mondrus@mail.ru, belohvost@list.ru

ПРИМЕНЕНИЕ КЭ-МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ КОЛЕБАНИЙ ОТ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ МЕТРОПОЛИТЕНА

В работе представлены результаты численного моделирования процесса распространения колебаний в грунте, вызванных движением поездов метрополитена в туннеле неглубокого заложения. Целевым объектом исследования является расположенное в 25 метрах от оси туннеля здание цеха точного оборудования. Полученные в работе результаты позволяют определить места установки оборудования, а также необходимые требования, предъявляемые к конструкции здания для обеспечения требуемого вибрационного режима.

Ключевые слова: *вибрация, точное оборудование, МКЭ, распространение волн, слоистый грунт.*

Данная работа посвящена изучению вопросов распространения вибрации от движения поездов метрополитена по линии неглубокого заложения и прогнозу уровней вибрации в прилегающем цехе с точным оборудованием. В связи с повышением виброшумозагрязненности большинства районов Москвы и других крупных городов России, вызванных напряженным движением как поездов метрополитена, так и автомобильного транспорта, остро встаёт вопрос виброзащиты как точного и исследовательского оборудования, так и жилых зданий [1]. Сейчас большинство крупных научно – исследовательских центров расположены в черте города, характеризующегося повышенным уровнем вибрации. Для примера, современные многокоординатные металлообрабатывающие центры могут эксплуатироваться при амплитудах колебаний фундамента до 0,1 мкм при частотах 1 – 100 Гц [2]. Поэтому определение путей распространения колебаний является важной задачей при проектировании системы виброзащиты точного оборудования.

Для численного моделирования в данной работе применятся ПК MSC Patran/Nastran, т.к. конечно – элементное моделирование в данном случае позволяет учесть не только слоистость грунтов основания под целевым зданием и туннелем, но также и конструктивные особенности самого здания, а также влияние резонансов отдельных элементов здания на уровни вибрации точек в местах установки оборудования. Следует отметить, что в настоящее время в проектной практике обычно принимаются эмпирические зависимости для перехода от уровней вибрации на грунте к уровням вибрации на этажах здания. Применение ПК MSC Patran позволило ускорить данную процедуру, более того, точность полученных результатов оказывается значительно выше.

Расчетная модель состоит из слоистого массива грунта, туннельной обделки метрополитена и проектируемого двухэтажного монолитного железобетонного здания цеха точного производства. Диаметр туннельной обделки метрополитена составляет 5,5 м, длина здания – 12 м, высота этажа - 3,2 м, расстояние в плане от оси пути метрополитена до торца здания – 25 м, глубина заложения тоннеля метрополитена – 10 м. Массив грунта включает в себя искусственные слои с высоким демпфированием по торцам расчетной модели, необходимые для исключения переотражений волн на границе (на рисунке показан красным и голубым цветом).

Результатами многочисленных исследований отмечено [3], что колебания, вызванные прохождением поездов метрополитена, имеют пики в октавной полосе 31,5 Гц. Для

исследования этого феномена в работе был проведён модальный анализ тоннельной обделки, который представлен на рис. 2 б, в. Задача моделировалась в винклеровской постановке, результаты сравнивались с данными натурных замеров, проведённых коллегами из ООО «Вибросейсмозащита» на Таганско – Краснопресненской линии метрополитена, в туннеле (рис. 2, а). Результаты численного моделирования совпадают с данными натурных замеров (на спектре первые два пика соответствуют частотам 30 и 41 Гц).

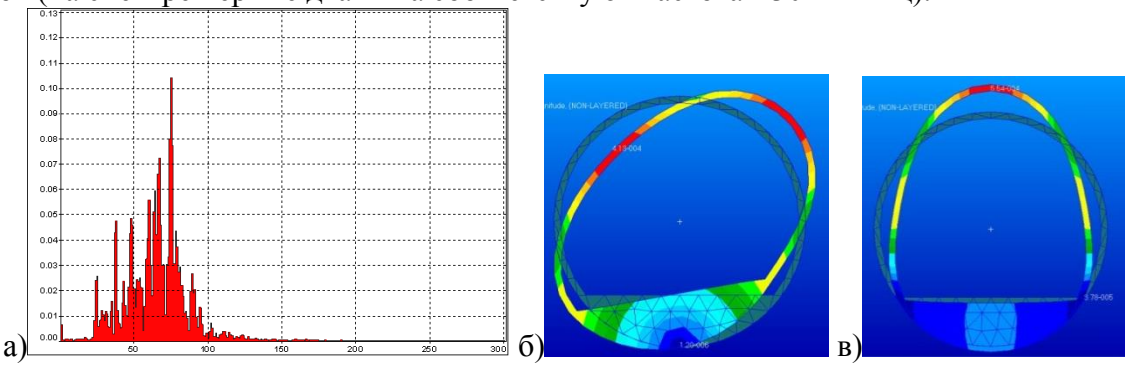


Рис. 2. Спектр колебаний рельсового пути при проходе поезда метрополитена (а) и формы колебаний тоннельной обделки при частоте 29,2 Гц (б) и 41,1 Гц (в)

Поскольку при прохождении поезда метрополитена происходит удар колеса по стыку, возбуждаются все формы колебаний, при этом большей энергией обладают формы, показанные на рис. 2 б, в. Их резонансные колебания в грунте возбуждают не только вертикальные, но и горизонтальные (даже на прямом участке пути) колебания. В работе был проведён прямой динамический анализ распространения волн от туннеля метрополитена до целевого здания. На основе расчета получены картины распространения волн в грунтовой среде, а также записи колебаний этажей целевого здания. Результаты расчетов представлены на рис. 3.

Графики колебаний точек на поверхности грунта и на разных этажах здания представлены на рис. 4. Из результатов расчетов рис. 3 – 4 следует отметить, что амплитуды колебаний в здании, расположенном на расстоянии 25 м от туннеля метрополитена составляют 0,2 – 0,7 мкм (0,5 – 1,2 мкм на перекрытиях) в октавной полосе 31,5 Гц, т.е. наиболее выраженной для поездов метрополитена. Данные значения превышают рекомендуемые значения для помещений высокоточных производств, что приводит к необходимости устройства системы виброзащиты [1,3,5].

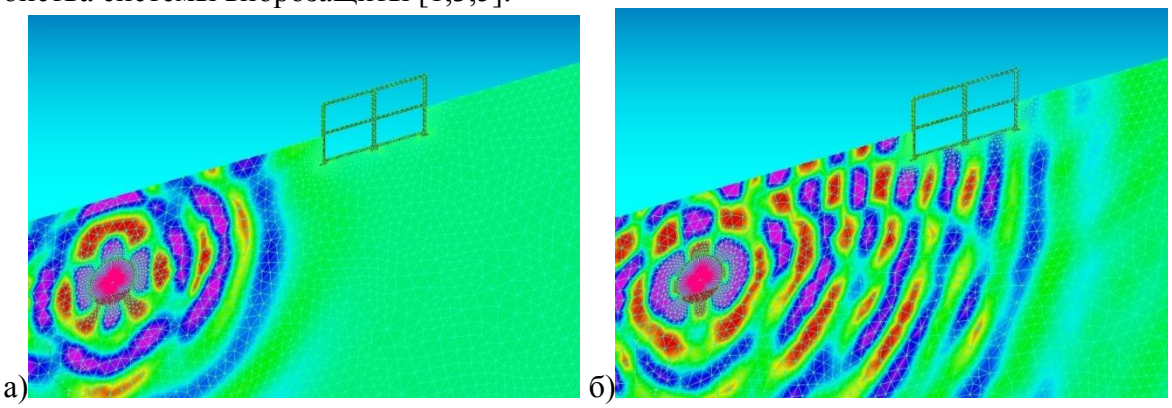


Рис. 3. Распространение волн в грунтовой среде от движущегося по тоннелю поезда: а) 0,11 с. б) 0,28 с.

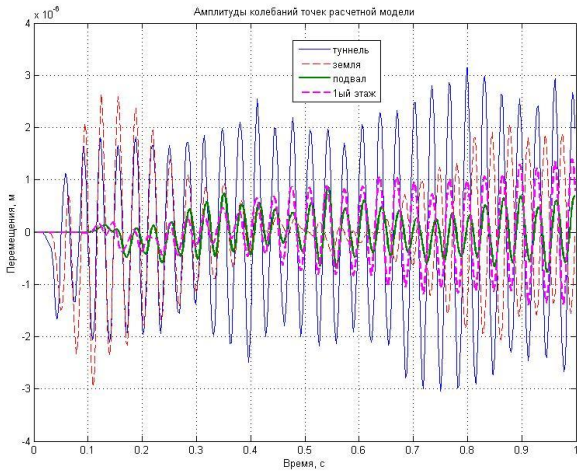


Рис. 4. Колебания точек в туннеле и в исследуемом здании

Необходимо отметить также, что амплитуды колебаний точек на полу подвала оказываются меньшими по сравнению с перекрытием первого этажа. Это связано с близостью частот во входном спектре резонансным частотам перекрытий. Результатами расчета было отмечено, что на полу подвала амплитуды колебаний точек, расположенных в первой половине пролёта оказываются приблизительно в два раза большими, чем амплитуды колебаний точек, расположенных вблизи несущих стен здания.

Проведённые расчёты хорошо согласуются с инженерной практикой [1,2,4], более того применение ПК MSC Patran позволило с высокой точностью оценить влияние резонансов в исследуемом здании. На основе данных расчетов разработаны рекомендации для заказчика по наиболее выгодному размещению точных станков в здании.

Список литературы

1. *Мондрус В.Л., Смирнов В.А.* «Виброзащита высокоточного оборудования от низкочастотных колебаний». ACADEMIA. Архитектура и строительство. №1. – М. 2011.
2. Рекомендации по виброзащите несущих конструкций производственных зданий/ ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко. – М., 1988.
3. Смирнов В.А. «Методы размещения высокоточного оборудования в существующих зданиях». Научно – технический и производственный журнал «Жилищное строительство» - №6. – Москва, 2012 г. стр. 76- 77.
4. *Дашевский М.А.* Прогноз динамических воздействий на сооружения, расположенные вблизи трасс метро. Стр. механика и расчет сооружений, 1982, № 4, с. 36-40

05.02.22

А.А. Морозенко

Московский государственный строительный университет,
кафедра строительства атомных электростанций,
Москва, morozenkoAA@mgsu.ru

РЕФЛЕКСНО-АДАПТИВНАЯ МОДЕЛЬ ОРГАНИЗАЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ ИНВЕСТИЦИОННО-СТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОЕКТОВ

В статье представлен анализ современных организационных структур строительных предприятий экономически развитых стран. Разработан алгоритм формирования внутрисистемных связей инвестиционно-строительных проектов (ИСП). Разработана и обоснована рефлексно-адаптивная модель организационной структуры ИСП.

Ключевые слова*: рефлексно-адаптивная организационная структура, инвестиционно-строительных проект, факторы гибкости предприятия, блок-процессы, устойчивость ИСП.*

Задача повышения эффективности строительной отрасли сегодня становится актуальной как никогда, и, в первую очередь, потому, что строительный комплекс во многом определяет успешное решение социальных, экономических и технических задач развития регионов.

Не уменьшая важности влияния на эффективность работы строительных организаций таких направлений как использование новых материалов и технологий, повышение квалификации персонала, внедрение IT-технологий. Современная наука управления особо выделяет возможности организационной структуры, поскольку ее свойства решающим образом влияют на эффективность деятельности любой, в том числе и строительной компании.

Анализ современных структур строительных организаций экономически развитых стран выявляет явную тенденцию к разбюрократизации строительного комплекса. Так, при примерно равных объемах СМР в США и СНГ численность строительных организаций в последнем в 40 раз меньше, чем в США, что говорит о сверхцентрализации отечественной строительной отрасли.

Снижение уровня централизации и бюрократизации строительного предприятия, что повышает ее гибкость, а следовательно, и конкурентоспособность, предусматривает увеличение информационных потоков описывающих текущее состояние внешней и внутренней среды предприятия, необходимых для обеспечения технологического цикла и выработки оптимальных решений. Учет и анализ информационных потоков приводит нас к кибернетической модели строительной организации, использующей проектную форму организации своей деятельности. В этой связи инвестиционно-строительный проект следует рассматривать как систему, состоящую из исполнительной и управляющей подсистем, оперирующую материальными и информационными потоками.

Постоянно растущие требования заказчиков и потребителей к видам и качеству товаров заставляют организации отвечать на эти запросы, повышая гибкость предприятия по отношению к условиям производственной деятельности. Гибкость как системное свойство организации определяется рядом основных факторов, которые сведены в таблицу.

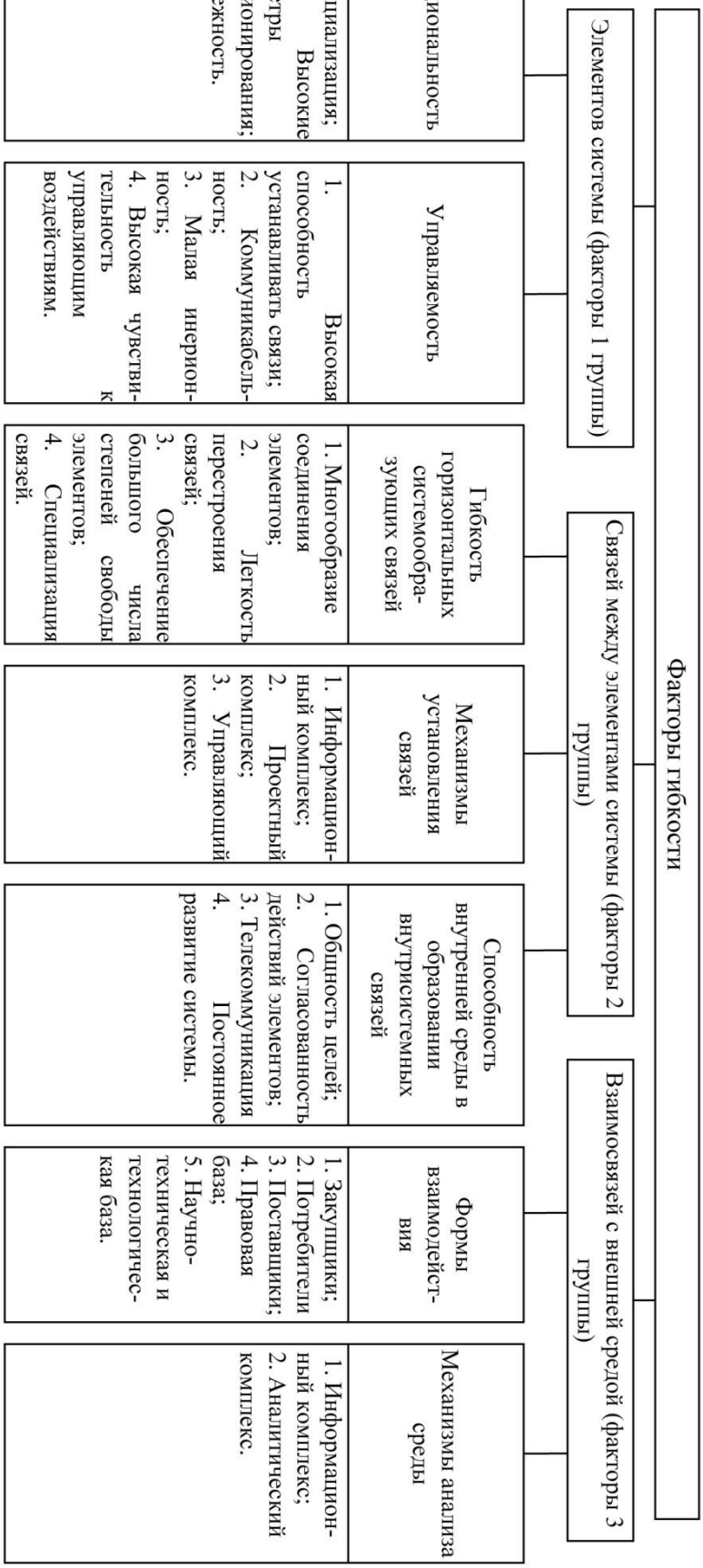


Рис. 1 – Факторы, влияющие на гибкость

Актуализация факторов гибкости 1 группы приводит к необходимости рассматривать систему как комплекс взаимосвязанных специализированных элементов [1], функционирующих в соответствии с алгоритмом, определенным целевой функцией системы. Рассматривая инвестиционно-строительный проект как совокупность работ, сгруппируем эти работы по их технологической близости и производственно-логической замкнутости в функциональные блоки. Таким образом, мы получим пять функциональных блоков: организационный «O», финансовый «F», технологический «T», логистический «L», правовой «D». В соответствии с этапами и фазами жизненного цикла ИСП функциональные блоки входят в определенную взаимосвязь, меняя ее в зависимости от смены фаз жизненного цикла ИСП под воздействием системы управления, обеспечивая тем самым высокую адаптивность организационной структуры ИСП к условиям его функционирования.

Актуализация факторов 2 группы приводит к формированию системных связей элементов ИСП, в соответствии с логикой функционирования ИСП на различных этапах реализации.

Поскольку ИСП есть объединение участников проекта на основе общих интересов, руководству ИСП необходимо заботится о создании деловой, творческой атмосферы внутри организации, что обеспечивает стабильность внутренней сферы ИСП и способствует возникновению дополнительных, неформальных связей между участниками проекта, повышая гибкость и адаптационные возможности организационной структуры ИСП.[2]

Реализуя свою целевую функцию инвестиционно-строительный проект активно взаимодействует с окружающей средой, параметры которой не остаются постоянными во времени. В работе [3,4] показано, что для устойчивой работы системы скорость ее реакции на изменяющиеся условия внешней среды должна быть не меньше скорости изменения условий внешней среды, т.е. должно быть выполнено условие:

$$\frac{d\overline{S(x)}}{dt} \geq \frac{\overline{dV(y)}}{dt}$$

Где: $\overline{S(x)}$ – вектор текущих состояний системы.

$\overline{V(y)}$ – вектор, определяющий состояние внешней среды.

Из чего следует два важных вывода. Во-первых, ИСП как система должен реагировать на любое изменение внешней среды, т.е. определять, получать, идентифицировать и формировать потоки информации, полностью описывающих состояние внешней среды, быть способным выделять из всего потока информации устойчивые тенденции, факты и элементы, чтобы выделив их, сосредоточить на них внимание, т.е. обладать свойством рефлексии. Для решения этой задачи должен иметься соответствующий механизм, аналогичный сенсорному механизму в живой природе, способный получать необходимую информацию из различных источников, определять ее ревалентность, интерпретировать и анализировать поступающую информацию.

Второй вывод заключается в том, что управляющие решения должны вырабатываться достаточно быстро, минуя бюрократическое согласование и преграды , а структура ИСП должна быть способна точно и в срок исполнить эти решения. Так возникает необходимость в наличии в ИСП обратной связи по управляющему воздействию, которую обеспечивает система контроля исполнения решений.

Таким образом, мы приходим к рефлексно-адаптивной структуре ИСП, показанной на диаграмме.

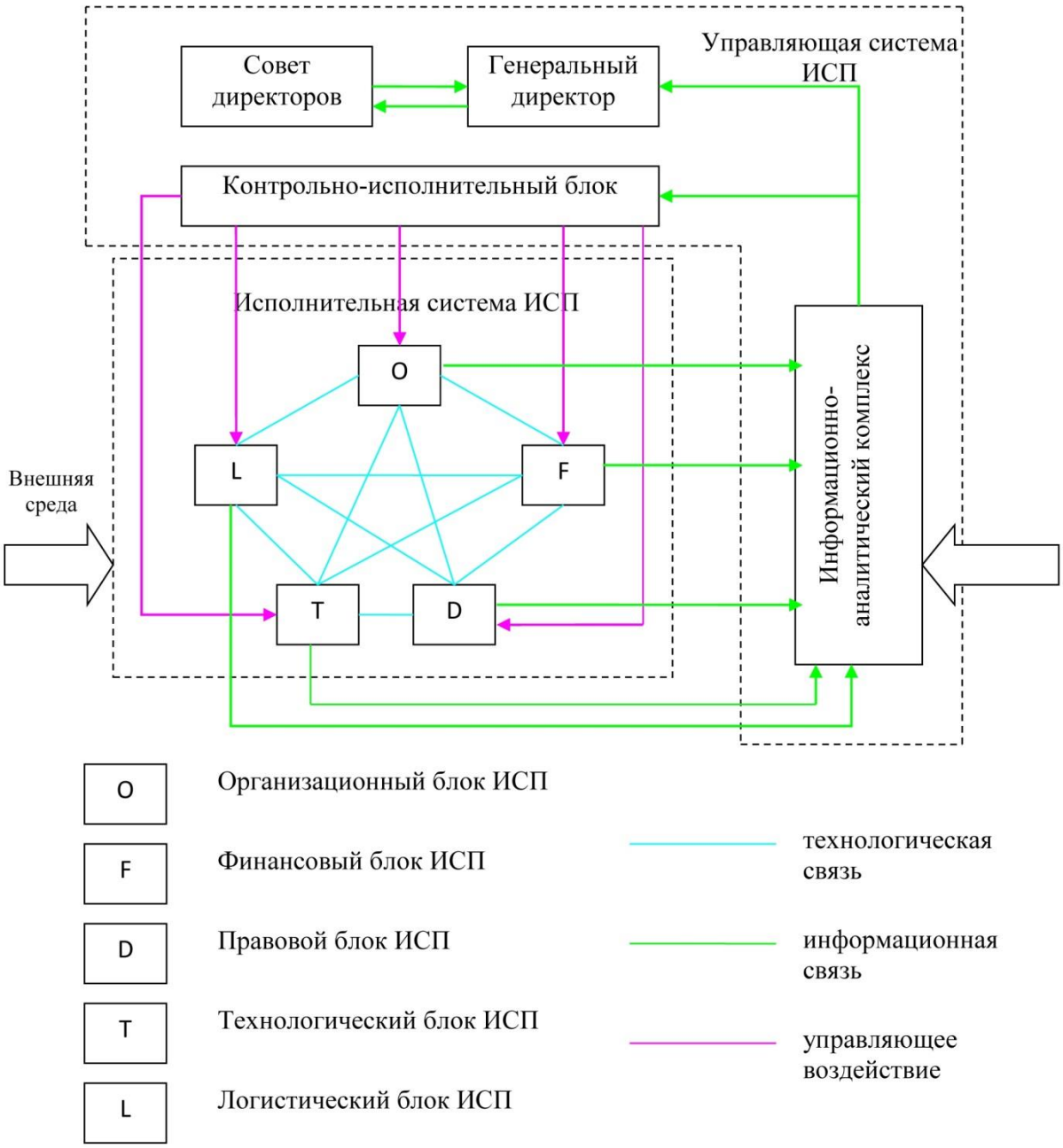


Рис.2 – ИСП с рефлексно-адаптивной организационной структурой

Для решения задач управления система содержит в себе элементы, способные получать и обрабатывать информационные потоки, характеризующие все необходимые показатели процессов и состояние среды.

Отнесём к обязательным элементам этой системы так называемые «тактильные сенсоры», т.е. первоисточники информации, формирующие поле ощущения событий для системы управления проектом. К ним можно отнести большой перечень информационных источников: от физических датчиков до специальных информаторов или информационных служб. Важно, чтобы информация была приведена к определённому стандартному виду, обеспечивающему её восприятие элементами системы или системой в целом.

Выполнение этих требований позволяет создать прогрессивную рефлексно-адаптивную организационную структуру ИСП, обладающую максимальными качествами гибкости и устойчивости.

Список литературы

1. Системотехника строительства Системотехника строительства. Энциклопедический словарь / *под редакцией А.А. Гусакова.* - М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2004. – 320 с.
2. *Самосудов М.В.* Корпоративное управление: организация работы совета директоров. Учебно-практическое пособие. – М.: Институт международных экономических отношений, 2003. – 265 с.
3. *Морозенко А.А.* Формирование оптимальной, с точки зрения устойчивости, организационной структуры инвестиционно-строительного проекта // Промышленное и гражданское строительство. 2012. №12. С. 33-34.
4. *Морозенко А.А.* Исследование структурных особенностей инвестиционно-строительного проекта, влияющих на устойчивое функционирование организации // Промышленное и гражданское строительство. 2013. №4. С. 41-42.

05.18.07

С.В. Мурадов, С.В. Рогатых

Научно-исследовательский геотехнологический центр Дальневосточного отделения Российской академии наук, лаборатория биогеохимии и экологии, Петропавловск-Камчатский, biolab@kscnet.ru

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РАСТВОРОВ ЛЕЧЕБНОЙ ГРЯЗИ И ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ПЕЛОИДНЫХ ПРЕПАРАТОВ

В работе представлены результаты изучения физико-химических свойств лечебной грязи оз.Утиное Паратунского курорта Камчатского края, инкубированной в грязехранилище. Полученные данные по содержанию пигментов, гуминовых и фульвокислот, аминокислот, белковых веществ, полисахаридов, фенолов и нефтепродуктов значительно дополняют имеющиеся данные. Сформулированы рекомендации к получению пелоидных препаратов.

Ключевые слова: *лечебная грязь, пелоид, препарат, раствор, экстракт, механическая активация.*

Исследование пробы грязи из грязехранилища со сроком хранения 6 месяцев, позволяет дополнить наблюдения физико-химических свойств лечебной грязи озера Утиное Паратунского курорта Камчатского края [7, 8]. Целью настоящей работы является исследование физико-химических свойств растворов лечебной грязи, создание основы технологии получения пелоидных препаратов и их соответствие установленным требованиям. Оценка физико-химического состава образца лечебной грязи выполнена в соответствии с действующими методическими указаниями [1, 4, 5]. По физико-химическим показателям проба грязи из грязехранилища относится к сапропелевым маломинерализованным (1,23 г/дм^3) сульфидным грязям (содержание сероводорода 0,159 %), со слабокислой реакцией среды (pH 6,47). Влажность исследованного образца составляет 67,27 %, т.е. она приближается к среднему значению требований, предъявляемых к лечебным сапропелевым пелоидам (60-90 %). Объемный вес образца грязи (1,14 г/см^3) находится на уровне нижнего значения (1,1-1,3 г/см^3) для сапропелевых грязей. Теплоемкость исследованного образца грязи 0,81 кал/г·градус и приближается к среднему значению теплоёмкости установленной для сапропелевой грязи (0,7-0,9 кал/г·градус), сопротивление сдвигу 1933 дин/см^2, а липкость 3903 дин/см^2. Засоренность твердыми минеральными частицами размером более 5 мм не обнаружена. Засоренность твердыми минеральными частицами размером более 0,25 мм составляет 3,04 %, что не соответствует требованиям установленных кондиций для сапропелевых грязей (не более 2,0 %), но находится на верхней границе (не более 3,0 %) для иловых грязей. Фракция 0,10-0,25 мм составляет 2,34 %. Обнаруженные на сите 0,25 мм частицы представлены растительными остатками и кусочками глинистого сланца, а частицы размером менее 0,1 мм представлены мелким кварцевым песком и растительными остатками. Засоренность песком в целом для грязи составляет 22,38 %. Зольность исследованной пробы грязи 84 %, она характерна для сапропелевых субстратов и по своему составу приближается к верхнему значению лечебной сапропелевой грязи (60-90 %). Адсорбционная способность грязи, выраженная в емкости катионного обмена сравнительно невелика, составляя 2,88 мг-экв. на 100 г абс. сухой грязи.

Содержание оксида двухвалентного железа составляет 2,284 %; трехвалентного железа – 0,034 %, что свидетельствует о незначительном влиянии кислорода воздуха на исследуемый образец пелоида. Об этом же свидетельствует и окислительно-восстановительный потенциал: он в исследуемых образцах отрицательный (–146 мВ), что характеризует эту грязь как субстрат, в котором протекают восстановительные процессы.

Содержание органического углерода в пересчете на абсолютно сухую массу составляет

16,31 %; азота – 1,28 %. Отношение углерода к азоту 12,74, что характерно для органических субстратов. Содержание гуминовых кислот в пересчете на абсолютно сухую массу составляет 8,03 %; липидов – 0,99 %. В составе липидов определяются каротиноиды в количестве 20,99 мг%, что почти в 10 раз превышает требования ТУ, установленных для аналогичных лечебных грязей по этому показателю – 2 мг%. Такая лечебная грязь обладает потенциально высокой биологической активностью и может использоваться для получения пелоидных препаратов.

Для определения органических компонентов лечебной грязи навеску воздушно-сухой грязи дебитумировали этанол-гексановой (1:1) смесью. Экстракт упаривали досуха, растворяли в ацетоне и затем снимали спектры поглощения, представленные на рис. 1. В видимой области спектра максимум поглощения отмечается при 405 нм. По результатам фотометрии рассчитывалось содержание хлорофиллов. В 100 г абс. сухой грязи найдено 8,43 мкг хлорофилла «а», 0,80 мкг хлорофилла «b», хлорофилл «с» не обнаружен. Низкий пигментный индекс (1,68) свидетельствует о преобладании каротиноидов и относительно малом разнообразии источников пигментов в грязи.

Из дебитуминированной грязи трехкратной сменой 0,1н NaOH и дист. воды проводили экстракцию гуминовых и фульвокислот. Гуминовые кислоты (ГК) отделяли подкислением соляной кислотой до pH 2 с последующим центрифугированием. Гуминовые кислоты характеризуются высоким отношением E_{465} /E_{665} = 5,48, что может свидетельствовать об относительной «молодости» и слабой конденсированности ароматического ядра гуминовых кислот.

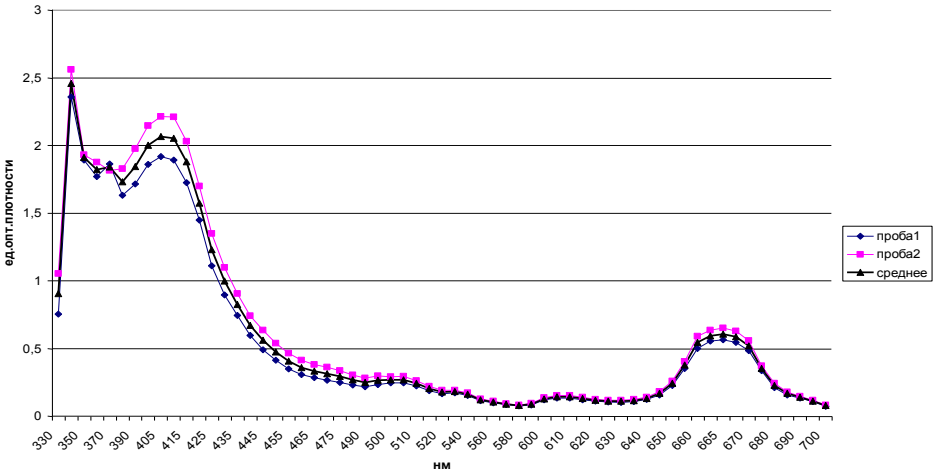


Рис. 1 – Поглощение ацетоновых экстрактов

Из центрифугата фульвокислоты выделяли по Форситу, на активированном угле. С угля фульвокислоты элюировали 1н раствором аммиака и определяли гравиметрически. Найдено, что содержание фульвокислот составляет 2,15 % от абс. сухой массы грязи. Параллельно в центрифугате определили содержание железа. Обнаружено, что 1 г фульвокислот связывает 4,42 мг железа.

Концентрация микроэлементов в исследуемой грязи (таблица), не превышает средней распространенности химических элементов в земной коре [2, 3, 6]. Содержание изученных радиоактивных элементов находится на уровне нижних значений, характерных для почв [9, 10]. Отжим представляет собой мутновато-опалесцирующий раствор, с pH 6,62. При хранении отмечается закисление раствора, появление желтой окраски и желто-коричневатого осадка. Грязевой раствор характеризуются как хлоридно-гидрокарбонатно-сульфатный (Cl 20 мг-экв.%, HCO_3 39 мг-экв.%, SO_4 41 мг-экв.%) кальциево-натриевый (Ca 21 мг-экв.%, (Na+K) 67 мг-экв.%), очень слабокислой реакции среды (pH 6,62) с низкой минерализацией 1,23 г/дм^3. Отжим характеризуется довольно высокой перманганатной окисляемостью (74,4) и содержанием нефтепродуктов (данный показатель завышен за счет других неполярных соединений).

Таблица – Физико-химические показатели экстрактов

Показатель	Проба № 1	Проба № 2
Влажность исходного образца грязи в %	67,27	
pH	5,80	5,91
Eh, mV	+55,2	+125,0
Сухой остаток, г/дм^3	3,250	3,278
Fe^{3+}, г/дм^3	0,0067	0,0067
Fe^{2+}, г/дм^3	0,402	0,433
Ca^{2+}, г/дм^3	0,141	0,158
Mg^{2+}, г/дм^3	0,0151	0,0138
Ba, г/дм^3	0,000043	0,000043
Sr, г/дм^3	0,00111	0,00111
Li, г/дм^3	0,000121	0,000119
Al, г/дм^3	0,000266	0,000286
Mn, г/дм^3	0,00204	0,00200
Cu, г/дм^3	0,000010	0,000004
Нефтепродукты, мг/дм^3	0,0904	0,105
Фенолы, мг/дм^3	0,006	0,008
Свободные аминокислоты (по лейцину), г/дм^3	0,0126	0,0121
Соединения, дающие биуретовую реакцию (белковые вещества), г/дм^3	0,090	0,095
Полисахариды (по глюкозе) г/дм^3	0,0203	0,0219

Экстракт грязи получали круговым перемешиванием грязи с дистиллированной водой (1:1 V/V) 4 часа на встряхивателе ЛАБ-ПУ-01 при 150 об/мин, затем настаиванием в течение 14 часов. На следующий день раствор отделяли центрифугированием при 5 тыс об./мин, и дополнительно фильтровали через фильтр «синяя лента» под легким вакуумом. Получали слабо желтый, мутновато-опалесцирующий раствор.

Состав экстракта по основным катионам и анионам приближается к составу грязевого раствора. В отличие от него, водный экстракт является сульфатным (SO_4 68 мг-экв.%), кальциево-натриевым (Ca 21 мг-экв.%, (Na+K) 69 мг-экв.%), с очень низкой минерализацией 0,63 г/дм^3 и более кислым pH 5,85. При хранении через два дня pH снижается до 4,74. Перманганатная окисляемость (32,8) ниже, чем в отжиме. Фенолы, летучие жирные кислоты, ароматические углеводороды, нафтеновые кислоты не выявлены. По-видимому, в данном случае при экстракции происходит разбавление грязевого раствора, без значительного дополнения извлекаемых веществ из основы грязи. Для обеспечения максимального выхода экстрагируемых веществ, следует вводить повторную экстракцию со сменой экстрагента. Итоговые экстракты смешиваются, составляя суммарный водный экстракт.

Для определения влияния интенсивности перемешивания (встряхивания), как важнейшей составляющей технологии переработки лечебной грязи, на состав экстракта, были приготовлены два образца грязи. Экстракты получали смешиванием проб грязи с бидист. водой (1:1 по объему) 4 часа, с последующим настаиванием в течение ночи. Проба № 1 перемешивалась круговым движением на устройстве ЛАБ-ПУ-01 при 150 об/мин. Проба № 2 интенсивно встряхивалась на возвратно-поступательном встряхивателе с ударным воздействием в моменты остановки в крайних точках. В пробе 2 более интенсивно происходило поглощение газов из воздуха, о чем судили по втягиванию полиэтиленовой мембраны, закрывающей колбу. На следующий день пробы вручную перемешивали и центрифугировали (3000 об/мин, 10 мин.). Жидкую фазу дополнительно фильтровали под легким вакуумом через бумажный фильтр «синяя лента».

Получали желтоватые, опалесцирующе-мутноватые растворы с несколько повышенной вязкостью, с кислой реакцией среды. В полученных растворах определяли химические показатели, некоторые микроэлементы и органические соединения. После осаждения

спиртом белково-полисахиридных комплексов, определения их количества, в спиртовом растворе определяли аминокислоты. Результаты представлены в таблице. Различия в показателях 1 и 2 экстрактов находятся в пределах ошибок определения, кроме большего значения Eh в экстракте № 2. Экстракты характеризуются повышенным содержанием Fe^{2+}, преобладанием ионов кальция над магнием, и несколько повышенным содержанием марганца. Фенолы практически отсутствуют. В экстракте присутствуют аминокислоты, белковые и пептидные вещества, полисахариды. Наличие Fe^{2+} обуславливает по мере его окисления углубление желтой окраски и появление осадка. Полученные результаты позволяют сформулировать следующие выводы:

1. Способ механической активации не влияет на химический состав извлекаемого экстракта лечебной грязи.

2. Донные отложения грязевого месторождения озера Утиное Паратунского курорта Камчатского края относится к сапропелевым маломинерализованным сульфидным пелоидам, характеризуется высоким содержанием гуминовых кислот и фульвокислот. Содержание липидов, каротиноидов и гуминовых кислот в данной лечебной грязи создает перспективы дальнейшего изучение пелоида с целью получения пелоидных препаратов с высокой биологической активностью.

3. Исследуемая лечебная грязь не содержит вредных веществ и тяжелых металлов в количествах, превышающих ПДК для природных субстратов, и поэтому может использоваться для лечебных процедур при условии соответствия другим параметрам кондиций.

Список литературы

1. *Бахман В.И., Овсянникова К.А., Вадковская А.Д.* Методика анализа лечебных грязей (пелоидов). М.: Медгиз, 1965. 142 с.
2. *Войткевич Г.В., Закрутина В.В.* Основы геохимии. М.: Высшая школа, 1976. С. 136-137.
3. Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений. М., 1983. С. 152-155.
4. Классификация минеральных вод и лечебных грязей для целей их сертификации. Методические указания № 2000/34, М.: РНЦ ВМиК, 2000. 75 с.
5. Критерии оценки качества лечебных грязей при их разведке, использовании и охране: Методические указания. М.: Медгиз, 1987. 24 с.
6. Методические указания по санитарно-микробиологическому анализу лечебных грязей № 143-9/316-17. М.: Медгиз, 1989. 24 с.
7. *Мурадов С.В.* Формирование и биологическая активность грязе-иловых отложений. Владивосток: Дальнаука, 2000. 93 с.
8. *Мурадов С.В.* Экологическое решение проблем современного грязелечения. Петропавловск-Камчатский: Изд-во КамГУ, 2007. 266 с.
9. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99). СП 261 758-99. Ионизирующее излучение, радиационная безопасность. Минздрав России, 1999.
10. Требования к горно-санитарной охране месторождений минеральных вод и лечебных грязей: метод. рекомендации N 96/1996. М., 1997. 19 с.

05.23.05

А.Е Насонова

ФБГУ ВПО «МГСУ», Институт фундаментального образования, кафедра общей химии, Москва, printepm@mail.ru

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОЛОГИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ К ПРОЦЕССУ МОДЕЛИРОВАНИЯ СВОЙСТВ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В работе обосновывается важность экологической оценки строительных материалов. Предлагается проводить экологическую оценку модифицирующих добавок. Приводятся данные о водостойкости изделий на основе каустического магнезита с различными модифицирующими добавками.

Ключевые слова: *экологическая оценка строительных материалов, каустический магнезит, сухая смесь, добавка, водостойкость.*

Экологические аспекты безопасности зданий и сооружений в данный момент начинает приобретать все большее значение в глазах профессионального сообщества. Свидетельством тому является разработка и утверждение сразу нескольких стандартов в области «зеленого строительства» - СТО НОСТРОЙ 2.35.4-2011 «Зеленое строительство. Рейтинговая система оценки устойчивости среды обитания», ГОСТ Р «Оценка соответствия. Экологические требования к объектам недвижимости», стандарт организации «Зеленые стандарты». Однако все они уделяют достаточно мало внимания экологической оценке строительных материалов.

Между тем, использование результатов комплексной оценки материалов в значительной степени позволяет упростить анализ, осуществляемый при сертификации зданий. Схема совместной экологической оценки материалов и зданий с учетом разработана проф. Н. Колера (Университет Карлсруэ) [1]. Она включает оценку материальных потоков и жизненного цикла строительных материалов, выбор наиболее оптимальных строительных материалов, проектирование здания с учетом экологических требований и оценку здания по его жизненному циклу.

Оценка строительных материалов предполагает две группы критериев. Первые связаны с оценкой влияния непосредственно на здоровье человека, вторые - с оценкой интегрального воздействия на окружающую среду. Для их описания применяется метод оценки по жизненному циклу [2]. С экологической точки зрения необходимыми качествами строительных материалов наряду энергоэффективностью, утилизируемость и др. являются долговечность и полифункциональность.

На кафедре общей химии Московского государственного строительного университете в течение ряда лет ведутся работы по изучению искусственного камня на основе каустического магнезита [3-5], который обладает рядом бесспорных преимуществ. Основным недостатком магнезиальных вяжущих является низкая водостойкость, которая снижает долговечность и ограничивает область применения изделий из каустического магнезита. Таким образом, анализируя изделия из каустического магнезита по их жизненному циклу, можно сказать, что низкая водостойкость снижает экологическую привлекательность этого материала.

Для решения данной проблемы предлагается вводить в состав цементной смеси различные добавки, изменяющие структуру цементного камня. Т.к. водостойкость рассматривается как один из экологических критериев [6], то, работая над ее повышением, надо иметь в виду последующую оценку строительных материалов по жизненному циклу. Поэтому было предложено оценить по жизненному циклу добавки, которые планировалось вводить в состав цементной смеси для повышения ее водостойкости.

Были выбраны следующие добавки и наполнители. Редиспергируемый латексный порошок на основе сополимеров винил-ацетата и винилверсатата (Vinavil WW 10Z), поливинилацетатная дисперсия (ПВА) ГОСТ 18922-80, натриевая соль карбоксиметилцеллюлозы (КМЦ), щавелевая кислота ГОСТ 22180-76, отходы хризотиласбеста, модифицированные концентрированной серной кислотой (H_2SO_4) ГОСТ 4204-77 и микрокремнезем конденсированный уплотненный МКУ-85.

На первом этапе данные добавки были подвергнуты анализу с точки зрения их жизненного цикла. Учитывались следующие факторы: используется ли в производстве данной добавки возобновляемое или невозобновляемое сырье. Какие отходы образуются в процессе производства. Какую нагрузку на окружающую среду несет производство добавки. Как может вести себя добавка во времени, в экстремальных условиях (например, при повышении температуры). Таким образом было предположено, что добавок ПВА и Vinavil следует избегать, т.к. при повышении температуры возможно расщепление до летучих мономеров, а при их производстве используется невозобновляемое сырье. Добавки КМЦ следует избегать, т.к. при ее производстве используются токсичные хлорорганические соединения. Щавелевая кислота при стандартных условиях твердая, а потому работа с ней более технологична, чем с концентрированной фосфорной. Ее следует применять. Ситуация с отходами хризотиласбеста, модифицированного серной кислотой неоднозначна. С одной стороны, некоторые зеленые стандарты ограничивают применение асбестоцементных изделий, с другой стороны речь идет об утилизации отходов. Поэтому предполагается применять с осторожностью. Микрокремнезем является побочным продуктом производства ферросилиция. Это минеральная добавка, не токсична. Рекомендуется применять.

На втором этапе сравнивались результаты экологического анализа с данными испытаний образцов плитных материалов на основе каустического магнезита на водостойкость. Для этого были приготовлены цементные растворы нормальной густоты. Принятые составы приведены в таблице 1. Данные составы выбраны как оптимальные по параметрам прочность/водостойкость для данной добавки. Результаты приведены в таблице 2.

Обращает внимание повышенный (выше единицы) коэффициент водостойкости при использовании в качестве добавки микрокремнезема. Данное явление было описано в [5]. Повышение прочности образцов при контакте с водой можно объяснить появлением нерастворимой кремниевой кислоты, которая кольматирует поровое пространство искусственного магнезиального камня. Так же возможно и химическое взаимодействие между основными и кислотными оксидами с образованием соединения типа диопсида $CaMg(Si_2O_6)$. В ИК-спектрах пропускания наблюдаются полосы, отнесенные к валентным колебаниям связей Mg – O – Si .

На основании сравнения данных, представленных в таблице 1 и таблице 3 можно сделать следующие выводы.

1. Установлена корреляция экологической оценки использования модифицирующих добавок с результатами испытаний изделий из каустического магнезита на прочность в сухом и водонасыщенном состоянии.

2. Органические добавки, получившие плохую экологическую оценку, не оказывают заметного влияния на водостойкость изделий из каустического магнезита

3. Приемлемыми добавками из рассмотренных можно считать щавелевую кислоту, отходы хризотил-асбеста, модифицированного серной кислотой, микрокремнезем.

3. Добавкой, обладающей наилучшими свойствами, как с точки зрения экологического анализа, так и с точки зрения повышения водостойкости, является микрокремнезем.

4. Экологический анализ модифицирующих добавок по жизненному циклу можно рекомендовать как необходимую стадию планирования эксперимента по улучшению свойств строительных материалов.

Таблица 1 – Составы, принятые для изготовления плитных материалов на основе каустического магнезита (даны в массовых процентах от каустического магнезита).

№ п/п	Добавка	Наполнитель	Затворитель	Кислота
1.	ПВА 15%	Перлит 80%	$MgCl_2 \cdot 6H_20$ 170%	H_3PO_4 10%
2.	КМЦ 0,01%	Перлит 80%	$MgCl_2 \cdot 6H_20$ 170%	H_3PO_4 10%
3.	Vinavil 1%	Перлит 80%	$MgCl_2 \cdot 6H_20$ 170%	H_3PO_4 10%
4.	-	Перлит 80%	$MgCl_2 \cdot 6H_20$ 170%	Щавелевая 25%
5.	-	Перлит 80%	$MgCl_2 \cdot 6H_20$ 170%	H_3PO_4
6.	-	-	$MgCl_2 \cdot 6H_20$ 25%	
7.	Хризотиласбест 1%	-	$MgCl_2 \cdot 6H_20$ 25%	$H_2SO_4$2%
8.	Микрокремнезем 15-20%	-	-	

Таблица 2. Результаты испытаний плитных изделий на основе каустического магнезита

№ п/п	Прочность в сухом состоянии, МПа	Прочность в водонасыщенном состоянии, МПа	Коэффициент водостойкости	Рекомендации
1.	4,3	3,1	0,72	Избегать
2	3,1	2,2	0,67	Избегать
3	5,9	3,0	0,66	Избегать
4	6,9	5,6	0,80	Применять
5	6,5	5,8	0,90	Применять
6	30,5	14,5	0,48	Избегать
7	25	21	0,84	Применять
8	10	20	2,0	Применять

Список литературы

1. *Kohler N.* Grundlagen zur Bewertung kreislaufgerechter, nachhaltiger Baustoffe, Bauteile und Bauwerke/ 20. Aachener Baustofftag 3. Maerz, 1998

2. *Князева В. П.* Экологические аспекты выбора материалов в архитектурном проектировании. – М.: Архитектура-С, 2006. – 296 с.

3. *Никифорова Т.П., Устинова Ю.В., Насонова А.Е., Сидоров В.И.* Экологическая оценка плитных материалов на основе каустического магнезита по их жизненному циклу//Вестник МГСУ. – 2010.-№1.-с.288-293

4. *Никифорова Т.П., Устинова Ю.В., Козлов В.В., Насонова А.Е.* Исследование взаимодействия каустического магнезита с добавкой хризотиласбеста//Вестник МГСУ. – 2011. - №4. – с.169-173

5.*Устинова Ю.В., Насонова А.Е., Никифорова Т.П., Козлов В.В.* Магнезиальные вяжущие с добавкой микрокремнезема//Вестник МГСУ. – 2012. - №7. – с.147-151.

6. *Устинова Ю.В., Никифорова Т.П., Насонова А.Е., Сидоров В.И.* Экологическая оценка плитных материалов на основе каустического магнезита по их жизненному циклу//Вестник МГСУ. – 2010. - №1. – с.288-293.

05.13.11

В.Ю. Носков, А.В. Пономарев, Е.А. Гой, А.В. Костромин

Уральский Федеральный Университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина,
Институт материаловедения и металлургии,
кафедра Теплофизики и информатики в металлургии,
Екатеринбург, vynoskov@gmail.com

ГЕОБАЛАНСИРОВКА НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК TCP ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

В работе представлены результаты работы по исследованию существующих проблем балансировки нагрузки между ЦОД в облачных вычислительных системах. Предложено и описано решение, позволяющее достигнуть распределения нагрузки, с минимальным временем доступа пользователей до ресурсов.

Ключевые слова: *геобалансировка, облачные системы, системы доставки контента.*

Постоянно увеличивающееся использование веб ориентированных сервисов (ВОС), требует построения высокопроизводительных и масштабируемых решений. Число посетителей online-магазинов, SaaS платформ, развлекательных и образовательных порталов, растет быстрыми темпами. Согласно исследованию, проведенному в сентябре 2011 года Фондом «Общественное мнение» и Microsoft [1], рост рынка интернет торговли составил около 26%. Рост услуг SaaS, согласно материалам CNews Analytics, составляет более 100% в годовом исчислении [2]. Постоянный рост нагрузки на ВОС, без изменения аппаратных платформ, на которых запущено приложение, приводит к постепенному увеличению времени отклика системы и к деградации предоставляемого сервиса ВОС. До 40% пользователей покидают ресурс при ожидании загрузки страницы свыше 3 секунд, при этом снижение среднего времени загрузки страницы с 8 до 2 секунд способно увеличить количество результативных посетителей ресурса на 74% [3].

Высоко нагруженные ВОС, с целью обеспечения минимального времени отклика и резервирования, проектируются и строятся с размещением аппаратных платформ на разных географических площадках. К примеру, серверное оборудование, обеспечивающее функционирование веб приложений Google размещено на 13 площадках по всему миру, оборудование Facebook размещено на 11 площадках.

Большинство существующих решений распределения нагрузки между ЦОД используют механизмы DNS гео-балансировки. DNS сервер на основании IP адреса, с которого пришел запрос, возвращает пользователю IP адрес сервера, расположенного в ЦОД предельно близко по расстоянию к пользователю. К сожалению, почти все продукты гео-балансировки не лишены недостатков. Большинство из свободно распространяемых программных решений (BIND GeoIP, Power DNS и т.п.) имеют статичную конфигурацию. Фактически это приводит к тому, что все запросы, переадресованные на аварийную площадку - теряются. Облачные решения DNS балансировки (Azzure Traffic Manager, Amazon Route 53), также как и специализированные аппаратно-программные комплексы (KEMP Technologies GEO LoadMaster, Cisco Global Site Selector, Barracuda Load Balancer и т.п.), позволяют отслеживать состояние веб-приложение на площадке до того, как выполнить переадресацию пользователя на него. Однако даже эти решения не учитывают загруженность площадки, на которой производится обработка пакетов пользователя.

Ну и кроме этого, действующие средства гео-позиционирования используют IP адрес не пользователя, а DNS сервера, который указал пользователь в настройках своего IP интерфейса. Это часто дает неудовлетворительный результат балансировки:

1. Пользователь, с целью ускорения работы в сети Интернет, может установить в качестве DNS сервера не ближайший к нему, а один из «бесплатных» DNS серверов (http://pcsupport.about.com/od/tipstricks/a/free-public-dns-servers.htm). В этом случае, сервис гео-балансировки выдаст пользователю не адрес ближайшего к нему сервера, а адрес сервера, ближайшего к используемому свободному DNS серверу;
2. Географические характеристики местоположения ЦОД и пользователя не учитывают реальный маршрут прохождения пакетов по сети Интернет. Путь пакета даже в смежных городах может пролегать не по кратчайшему пути, а через центральные города страны или даже другие страны.

Существующий способ, который используется в коммерческих продуктах для исключения отмеченных недостатков геопривязки - это прямое измерение времени задержки на канале связи пользователь – ЦОД. Для определения времени используются средства ICMP. В частности, в продуктах Radware Alteon ADC или Brocade ServerIron ADX, в момент поступления первого пакета от пользователя на любую площадку ОВС, оборудование балансировки с каждой площадки посылает пакет ICMP (ping) на IP адрес пользователя или адрес маршрутизатора, к которому подключён пользователь. После получения ответа, производится сравнение этих времён. Пользователь переадресовывается на более близкий ЦОД, либо обслуживается на ЦОД, на который он обратился при первом запросе. Все последующие пользователи из этой сети будут переадресованы на наиболее близкий ЦОД уже при DNS запросе.

Измерения, проведённые подобным активным образом, приводят к частым ошибкам, обусловленным несколькими факторами:

1) Установление фильтров безопасности на оборудовании пользователя или на маршрутизаторе приводит к отсутствию ответов на ICMP пакеты;

2) Отличия в скорости передачи IP и ICMP пакетов на маршрутизаторе. Современные маршрутизаторы при пересылке пакетов не используют ресурсы собственного управляющего процессора, а коммутируют пакеты на специализированных пакетных процессорах. Обработка входящих ICMP пакетов производится на центральном управляющем процессоре, на котором приоритет обработки ICMP может быть крайне низким и зависеть от ряда дополнительных факторов;

3) Приоритет транзитных ICMP пакетов может быть принудительно занижен или данные пакеты могут полностью подавляться в связи с требованиями безопасности оператора связи.

Предлагаемое решение

Измерение времени доставки пакета между пользователем и сервером можно произвести путем наблюдения за пакетами в период установления TCP сессии. Для этого достаточно проанализировать старт TCP сессии. Необходимо измерить время между отправкой со стороны FrontEnd сервера пакета Syn, Ack и получением от пользователя пакета Ack [4]. Поскольку время обработки данного пакета на пользовательской стороне значительно меньше времени передачи пакета по сети, можно считать, что разница во времени между отправкой пакета Syn, Ack и получением Ack от пользователя равна удвоенному времени доставки пакета. Для измерения этого времени нет необходимости устанавливать оборудование на пути следования пакетов или пропускать трафик через специализированное оборудование анализа пакетов. Достаточно на одном из коммутаторов СПД, стоящем на границе сети, обеспечить зеркалирование входящего трафика внешних сетей на выделенный интерфейс, к которому подключить устройство анализа.

Последующая задача выбора оптимальности ЦОД для определённой группы пользователей (IP сети) может быть выполнена путем сравнение времени доставки пакета из этой сети до всех ЦОД. Этот этап можно условно назвать «обучением». Для выполнения этого действия реализуется механизм переадресаций HTTP (HTTP Redirect) на граничных серверах (Front End).

Рассмотрим на примере 5-ти ЦОД (рисунок 1). В период «обучения» DNS сервер возвращает на запрос любого пользователя адрес одного из выбранных ЦОД «по

умолчанию» (показан непрерывной линией). В конфигурации FrontEnd сервера этой площадки устанавливается HTTP переадресация запросов на остальные площадки в режиме циклического перебора, на которых уже производится обслуживание пользователей (показано прерывистой линией). Таким образом, в процессе последующей работы мы получим пары запросов пользователей сетей с различными ЦОД.

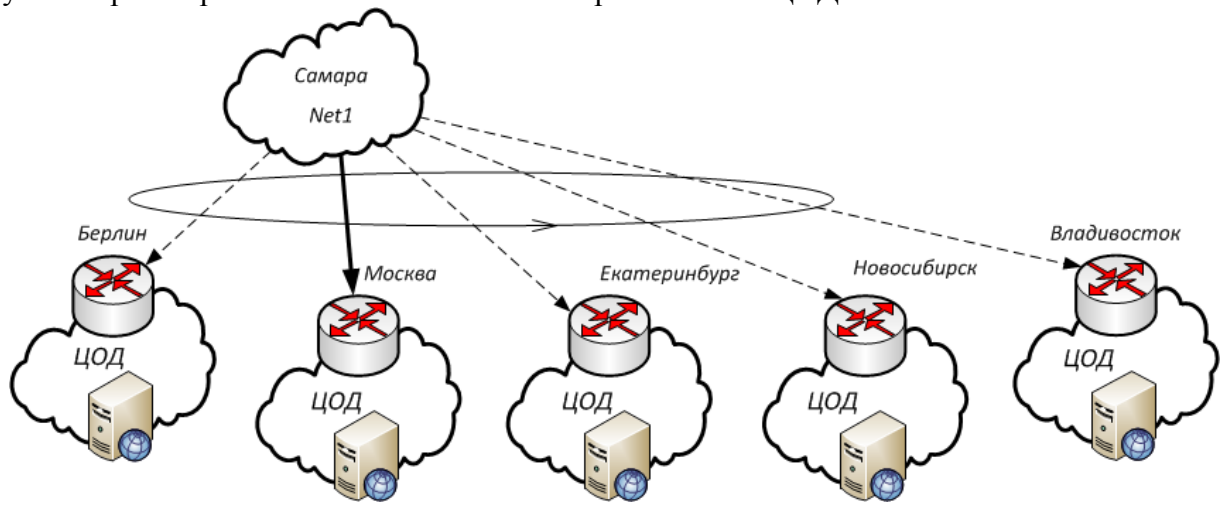


Рис. 1 - Распределение HTTP сессий

Далее становится возможным провести попарное сравнение времени доставки пакетов между эталонным ЦОД (узел первого выбора) и ЦОД, на который была произведена переадресация. Предполагая, что для одного пользователя время передачи пакета по региональной сети для всех пакетов является одинаковым, вычисленное значение по формуле (1) можно считать разницей в передаче пакета между сетью пользователя и сравниваемыми ЦОД.

$$deltaT = \left(T_{\text{регион}} + T2_{\text{межрегион}}\right) - \left(T_{\text{регион}} + T1_{\text{межрегион}}\right) = T2_{\text{межрегион}} - T1_{\text{межрегион}}$$

где,

$T_{\text{регион}}$ - время передачи пакета по региональной сети;

$T2_{\text{межрегион}}$ - время передачи пакета до ЦОД на втором выборе;

$T1_{\text{межрегион}}$ - время передачи пакета до ЦОД на первом шаге.

Имея таблицу разницы времён передачи пакета относительно эталонного ЦОД первого выбора можно провести ранжирование ЦОД по времени доставки пакетов. Максимально близко к пользователю будет располагаться ЦОД обладающий наименьшим отрицательным числовым значением. Положительные значения говорят о том, что сам ЦОД первого выбора обладает наименьшим временем отклика.

После заполнения всех параметров таблицы для отдельной сети производятся действия, направленные на оптимизацию времени передачи пакетов между сетью клиента и ЦОД.

1) На DNS серверах для данной сети клиента устанавливается ЦОД первого выбора с наименьшим временем отклика;

2) На Front-End серверах, за исключением наиболее оптимального для этой сети, настраивается переадресация запросов на ЦОД с наименьшим временем отклика;

3) На ЦОД с наилучшим временем отклика настраивается обработка запросов клиента на собственных серверах.

В процессе дальнейшего функционирования необходимо производить постоянный мониторинг средствами SNMP загрузки ЦП серверных платформ. Особенностью серверных платформ, работающих в псевдо параллельном режиме, является практически стабильное время отклика сервера в диапазоне загрузок CPU 10-70% [5], [6].

При работе в этом диапазоне, все поступающие запросы обрабатываются сервером без формирования очередей на обработку. При последующем росте — происходит резкое увеличение времени отклика сервера. При этом не имеет принципиального значения, на

каком уровне (Front-end, сервер приложений, сервер БД) происходит увеличенная загрузка ЦП. Таким образом, основная задача системы балансировки нагрузки является контроль загрузки серверов ЦОД и при превышении порогового значения в 60% увод части пользователей на альтернативную площадку.

Перевод пользователей выполняется путем установки переадресаций на альтернативный ЦОД для отдельных сетей непосредственно на FrontEnd серверах. При этом изменений DNS балансировки не производится. На стороне ЦОД, на который выполняется переадресация, устанавливается локальное предоставление информации для этих пользователей.

Разработанные алгоритмы гео-балансировки были реализованы в экспериментальном образце системы балансировки нагрузки. Предварительные результаты испытаний показывают работоспособность и эффективность принятых решений. Работа поддерживается Министерством образования и науки Российской Федерации в рамках государственного контракта 14.514.11.4043.

Список литературы

1. Рынок e-commerce в России [Электронный ресурс] //Microsoft: [web сайт] . - USA, 2011. – Режим доступа: http://www.microsoft.com/ru-ru/cpe/ecommerce.aspx. - Дата обращения 15.04.2013
2. М. Попова, Л. Байдалина. Рынок SaaS в России разгоняется и нагревается [Электронный ресурс] //CNewsAnalytics: [web сайт] . - М, 2011. - Режим доступа: http://www.cnews.ru/ reviews/ free/saas/articles/articles1.shtml. - Дата обращения 15.04.2013
3. Linda Bustos. Every Second Counts: How Website Performance Impacts Shopper Behavior [Electronic resource] // Elastic Ecommerce Blog.: [web сайт] . - USA, 2013. Mode access: http://www.getelastic.com/performance/. – 15.04.2013
4. Alexander Karstens TCP Portals: The Handshake's a Lie! [Electronic resource] //Ixia Connect: [web сайт] . - USA, 2009. - Mode Access: http://blogs.ixiacom.com/ixia-blog/tcp-portals-the-handshakes-alie/. - 15.04.2013
5. Миллион одновременных соединений на Node.js [Электронный ресурс] //Хабрахабр: [web сайт] . - М, 2012. - Режим доступа: http://habrahabr.ru/post/123154/. - 26.03.2013
6. Результаты тестирования производительности и емкости и рекомендации (SharePoint Server 2010) [Электронный ресурс] //Microsoft: [web сайт] . - USA, 2011. - Режим доступа: http://technet.microsoft.com/ru-ru/library/ff608068%28v=office.14%29.aspx. - 26.03.2013

05.23.22

О.И. Поддаева

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, poddaeva@mgsu.ru

ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗОН РАЗМЕЩЕНИЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК В ЗАСТРОЙКЕ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ АНАЛИЗА КЛИМАТА И ФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Настоящая статья выполнена с целью выявления перспективных зон размещения ветроэнергетических установок в городской застройке. Проведен анализ погодных условий и климатических явлений города Москва. Публикация выполнена в рамках ГК 16.552.11.7064 от 13.07.2012 г.

Ключевые слова: *Ветровой режим, физическое моделирование, микроклимат, ветроэнергетическая установка, ветрогенерато*.

В масштабах района или города изменения микроклиматических условий выражаются, прежде всего, в формировании «острова тепла» и снижения скорости ветра до определенной высоты, зависящей от высоты зданий и сооружений. В более мелком масштабе (отдельные здания или группы зданий и прилегающие к ним дворовые пространства и другие территории) среди наиболее значимых микроклиматических последствий присутствуют зоны устойчивого усиления скорости ветра, оптимальные для размещения малых ветроэнергетических установок (ВЭУ). Это согласуется с данными следующих работ. А именно, Т.В. Прохорова указывает в своей статье, что «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 ветро-энергетические установки с мощностью до 100 кВт.» [1]. И.В. Дуничкин и др. в своих работах сообщает важные условия для функционирования ВЭУ - «При комплексном подходе возможно в новых конструкциях застройки предусмотреть размещение ветроэнергетических установок при соблюдении санитарно-гигиенических требований и требований к работе конструкций.» [2], «При штилевой ситуации 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. Для некоторых моделей этого может быть достаточно, для начала работы ветрогенератора.»[3].

В зонах усиления скорость ветра может достигать значений 10 м и более даже при среднеклиматических значениях скорости фонового ветра. Такая скорость ветра является оптимальной для работы ветрогенераторов разных конструкций, однако несет дискомфорт и иногда опасность для людей. Эффективность выработки электроэнергии падает из-за пульсационной составляющей, когда зоны застоя и усиления скорости ветра формируются на близком расстоянии друг от друга.

ЦНИИП градостроительства установлена последовательность этапов учета природно-климатических условий при планировке и застройке городов [4]. Такими этапами являются: выявление комплекса природно-климатических и градостроительных факторов и установление их взаимосвязи применительно к конкретной стадии строительного проектирования и градостроительной ситуации; проведение оценки по комплексу

выявленных природных факторов; разработка системы требований по защите городской среды от неблагоприятного воздействия природных условий и рациональному использованию природных ресурсов; разработка градостроительных и архитектурно-строительных средств, обеспечивающих практическую реализацию выявленных требований.

На первом этапе выделяются группы ведущих природных факторов, оказывающих воздействие на территорию проектируемого строительства. На этапе оценки климатических факторов, который является наиболее сложным и значимым этапом, закладывается основа для завершения последующих этапов [5]. В результате определяются нормативные показатели и критерии оценки природно-климатических факторов с позиций обеспечения биоклиматического, санитарно-гигиенического, эстетического и психологического комфорта внешней среды, а так же собирается необходимая информация для размещения ветроэнергетических установок.

Далее с помощью методов натурного и физического моделирования проводится пофакторная и комплексная оценка фоновых и местных микромасштабных природно-климатических условий. Подстановка задачи по определению зон ускоренного ветра в застройке для размещения ветрогенераторов подразумевает формулирование сценария исследования на основе натурных характеристик объекта. В связи с этим, важно для летнего периода учитывать температурную конвекцию по фасадам зданий, а для зимних условий необходимо учитывать отсутствие листвы на листопадных деревьях, что важно для расчета максимальных скоростей ветра при оценке степени его физического воздействия на ветрогенераторы.

Общая оценка ветрового режима, по данным наблюдений метеорологической обсерватории МГУ [6], позволяет выявить что, сухой жаркий континентальный воздух поступает в Московский регион из юго-восточной Европы и из Средней Азии, смещаясь по западной периферии антициклонов, стационирующих над югом Центральной России. По данным наблюдений средняя скорость юго-восточного ветра в июле составляет 2.5 м/с, южного – 2.4 м/с, а средняя скорость северо-восточного ветра в январе составляет 3.0 м/с, северного – 3.2 м/с.

Поэтому при организации городской среды необходимо предусматривать мероприятия, позволяющие размещать ветрогенераторы в зонах усиления ветра в приземном слое при его направлении с северо-восточной четверти горизонта, несмотря на относительно низкую повторяемость этого направления в среднем за год.

Средняя скорость ветра в Москве за зимний период в соответствии с приложением 5 к СНиП 2.01.07-85* «Нагрузки и воздействия» составляет 4.5 м/с [7]. Но при планировке территории следует учитывать, что, во-первых, в застройке имеют место зоны усиления и ослабления ветра, а сам ветер характеризуется не только средней скоростью, но и порывистостью. По данным наблюдений метеорологической обсерватории МГУ, число дней со скоростью ветра более 6 м/с составляет 25-30 дней в году. В связи с этим, необходимо учитывать возможности по выравниванию скоростей ветра для более эффективной работы оборудования ВЭУ. Порывистость ветра возрастает с увеличением его средней скорости. По данным наблюдений на метеостанциях Москвы при средней скорости ветра 5-10 м/с порывы составляют -3 м/с, а при скорости 11-15 м/с, 5-7 м/с [6]. По наблюдениям метеорологической обсерватории МГУ ежемесячно наблюдаются порывы 10 м/с и более. Характеристики ветрового режима территории для оценки ветроэнергетического потенциала (табл. 2, 3) принимались по данным [6, 8].

Зимой преобладающим направлением сильных ветров являются Ю, ЮЗ и З, дающие в сумме более половины всех скоростей, превышающих 2 м/с и более около 1/2 всех скоростей, превышающих 6 м/с.

Таблица 1. Средняя и максимальная скорость ветра в порывах (м/с)

Характеристики	Месяцы												Год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Средняя	3.1	3.0	2.9	2.9	2.6	2.5	2.3	2.3	2.6	3.0	3.0	3.1	2.8
Максимальная	16	12	12	12	12	10	10	10	10	12	12	12	16
Макс. порыв	22	19	20	21	21	28	18	21	21	25	23	21	28

Таблица 2. Среднемесячная скорость ветра (м/с) по направлениям

	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	штиль, %
январь	3.2	3.0	3.2	3.3	3.2	3.0	3.3	3.3	3
июль	2.7	2.5	2.5	2.5	2.4	2.3	2.5	2.8	7
год	3.0	2.8	2.8	2.9	2.9	2.8	3.0	3.1	5

Таблица 3. Повторяемость (%) различных сочетаний направления и скорости ветра

скорость м/с	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	штиль
	Повторяемость направлений ветра, %								
январь									
2–5	4.5	3.5	6.2	8.3	10.7	17.2	16.1	8.4	
6–9	0.5	0.5	1.0	1.3	1.1	1.4	2.0	1.3	
июль									
0–1	2.5	2.8	2.4	2.5	3.4	5.4	6.4	4.5	
2–5	6.9	6.1	6.1	5.8	7.8	9.5	12.4	12.2	

Летом преобладание какого-либо сочетания направления и скорости ветра выражено слабее. Ветры западной четверти направления в сумме дают около 1/3 ветров, превышающих 2 м/с, при этом вероятность ветров 6 м/с и более не превышает 1% ни по одному из направлений [9].

При принятии решения о размещении на ветру ВЭУ в качестве малых архитектурных форм, рекомендуется сочетание шпалер, парапетов ограждений с мачтами и пространственными конструкциями ВЭУ. С высотой зданий контрастность поля ветра буден немного ниже, при общем увеличении площади зон высоких скоростей ветра. Однако на эксплуатируемых крышах скорость ветра будет достигать, как правило, 60% от фоновой, что позволит при организации ветропарка из малых ВЭУ использовать надземную территорию.

Расположение ветроэнергетических установок в застройке требует дополнительных обоснований, в виде физического моделирования, не только с точки зрения прогнозов выработки энергии, а и с точки зрения вероятных рисков повреждения этого оборудования или объектов окружающей среды от ветровых воздействий. Особенно это актуально при интеграции его в конструктивно и планировочно сложную архитектуру «Зеленых» зданий. Исследование обтекания воздушным потоком поверхности зданий и сооружений с размещенными на них ВЭУ в аэродинамической трубе требует выявления характеристик среды и локальных аэродинамических эффектов в каждом отдельном случае.

Список литературы

1. *Прохорова Т.В.* Особенности и перспективы развития ветроэнергетики в урбанизированной среде // Вестник Поволжья. 2013. № 2. С. 121—128.
2. *Поддаева О.И., Дуничкин И.В., Прохорова Т.В.* Влияние пространственной организации реконструируемой жилой застройки на ветроэнергетический потенциал среды // Вестник МГСУ. 2013. № 2. С. 157-165.
3. *Поддаева О.И., Дуничкин И.В., Кочанов О.А.* Основные подходы к исследованию возобновляемых источников энергии как энергетического потенциала территорий и застройки // Вестник МГСУ. 2012. № 10. С. 221—228.
4. Рекомендации по учету природно-климатических факторов в планировке, застройке и благоустройстве городов и групповых систем населенных мест. М.: ЦНИИП градостроительства. – 1980.
5. Climate Booklet for urban development. - Ministry of the Interior Baden-Wurttemberg and Environment Protection Department of Stuttgart. - 2004.
6. Справочник эколого-климатических характеристик Москвы. М.: МГУ. - 2003.
7. СНиП 2.01.07-85*. Нагрузки и воздействия. /С картами/. (Актуализированная редакция - СП 20.13330.2011). М.: 2011
8. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3: Многолетние данные. Ч. 1- 6. Вып. 8: Москва и Московская область. - Л.: Гидрометеоиздат. -1990.
9. *Мягков М.С., Губернский Ю.Д., Конова Л.И., Лицкевич В.К.* ГОРОД, АРХИТЕКТУРА, ЧЕЛОВЕК И КЛИМАТ // Под ред. М.С.Мягкова. М.: Изд-во «Архитектура-С», 2006, - 320 с.

05.02.07

С.Л. Проскуряков, А.Н. Рыкунов

Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А. Соловьёва,
авиатехнологический факультет,
кафедра «Резание материалов, станки и инструменты имени С.С. Силина»,
Рыбинск, rykunov2007@yandex.ru, rmsi@rgata.ru

МОДЕЛЬ ЗОНЫ РЕЗАНИЯ С УЧЕТОМ ЦИКЛИЧНОСТИ ПРОЦЕССОВ ТРЕНИЯ В ЗОНЕ СТРУЖКООБРАЗОВАНИЯ

Экспериментально и теоретически установлено, что при высоких скоростях резания в зоне стружкообразования происходят процессы трения, имеющие циклический характер. Представлена модель зоны резания, учитывающая это явление. Получены математические зависимости для определения основных параметров элемента стружки и времени его образования.

Ключевые слова: *точение, модель стружкообразования, циклический характер процессов трения*.

В последнее время большое внимание уделяется разработке физических, а на основе их математических моделей описывающих сложные процессы и явления. Процесс точения можно отнести к сложному процессу, ввиду многогранности сопровождающих его явлений, которые трудно поддается математическому описанию. Несмотря на старания ученых и исследователей на сегодня нет единой достоверной модели процесса резания. Известно, что большинство расчетных методов построено на модели сливного стружкообразования, таким образом, происходит некоторая идеализация реального процесса. При резании многих пластичных материалов стружкообразование происходит в две стадии.

Разделение потоков металла на вершине режущего лезвия всегда сопровождается появлением заторможенной зоны, которая является следствием симметрии сил в определенной точке передней поверхности инструмента, что существенно изменяет механику резания. Эта зона отделяет часть металла в виде стружки, а часть направляет под заднюю поверхность резца. Выяснение механизма формирования элементов стружки позволяет яснее представить физическую картину, происходящую в зоне стружкообразования. При элементном стружкообразовании не весь материал срезаемого припуска подвергается пластической деформации в равной степени [1,2]. Существование четко очерченных сдвиговых поверхностей, разделяющих стружку на элементы, свидетельствует, что на границах сконцентрированы основные деформационные и как следствие тепловые процессы. Застойная зона, которая имеет клиновидную форму, является генератором для формирования элементов стружки. На первой стадии, при нагружении происходит формирование застойной зоны, сопровождающееся упруго-пластической деформацией и накоплением потенциальной энергии в системе в виде упругой деформации на глубину распространения упругой волны. На второй стадии система разгружается, она характеризуется образованием плоскости сдвига, срезом адгезионных связей с поверхности режущего лезвия и перемещением элемента по сдвиговым поверхностям до начала нового цикла подмятия и образования застойной зоны.

Схема действия сил в зоне резания при формировании элемента стружки показана на рис. 1. Именно клиновая поверхность застойной зоны, находящаяся в условиях сжатия по боковым поверхностям, пытается найти слабое место и разорвать имеющиеся связи.

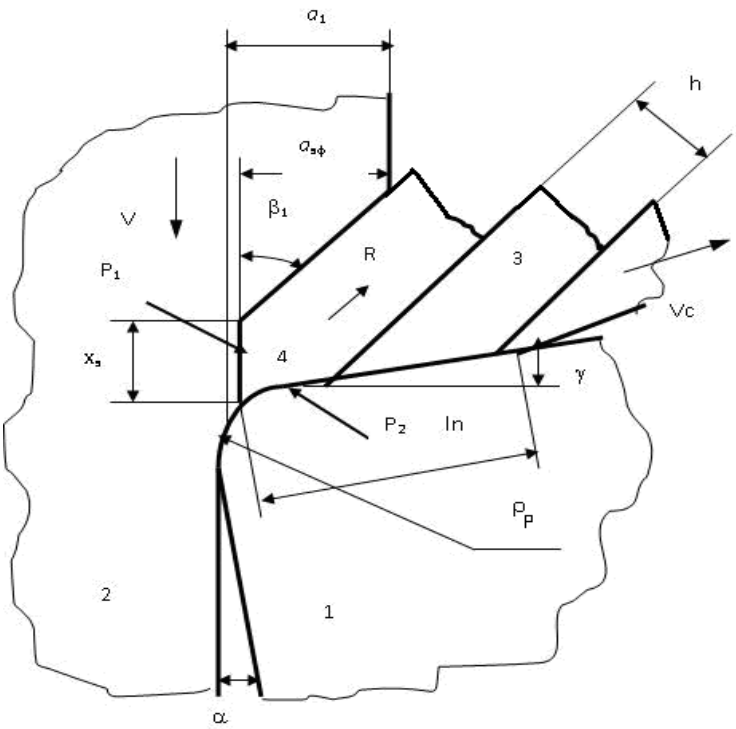


Рис. 1 – Схема расчета силы резания на передней поверхности.
1 – лезвие; 2 – заготовка; 3 – срезаемая стружка; 4 – зона образования элемента

Вследствие этого при достижении некоторого критического значения давления на боковых поверхностях клина начинается его перемещение и сдвиг всего элемента стружки. Для выяснения предельных условий начала движения элемента запишем уравнение равновесия сил на боковых поверхностях образующегося клинового участка (рис. 2), которое в векторной форме имеет вид

$$\vec{R}+\sum_i\left(\vec{P}_i+\vec{N}_i+\vec{F}_i\right)=0\ , \qquad (1)$$

где R – равнодействующая сил, выталкивающих элемент; P_i – силы сжатия элемента клина; N_i – силы нормального давления на поверхность элемента; F_i – силы трения на поверхности элемента.

В общем случае условия трения на противоположных поверхностях клина могут быть различными. С учетом этого равнодействующая выталкивающих сил будет равна

$$R=P\sin 2\psi\left(1-\frac{tg\varphi_s}{2tg\psi}-\frac{tg\varphi_n}{2tg\psi}\right)\ , \qquad (2)$$

где φ_s – угол трения в плоскости сдвига; $\varphi_п$ – угол трения на передней поверхности инструмента.

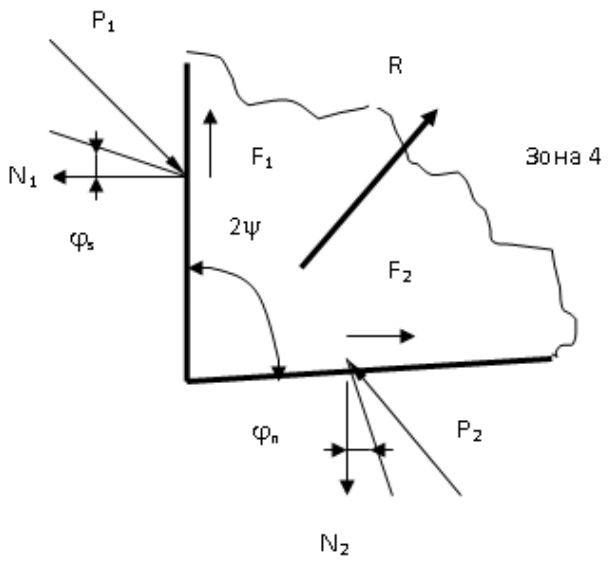


Рис. 2 – Схема действия сил в зоне образования элемента стружки

Критическое состояние, соответствующее началу движения элемента, определяется неравенством

$$1-\frac{1}{2}\left(tg\varphi_S+tg\varphi_n\right)ctg\psi>0\cdot \tag{3}$$

Принимая во внимание условия, возникающие на вершине застойной зоны, где угол раскрытия клина достигает своего наибольшего значения равного $2\beta_1$, и, учитывая радиусную поверхность перехода между передней и задней поверхностями, получим следующее выражение

$$2tg\beta_1>tg\varphi_n+tg\varphi_S\ , \tag{4}$$

которое при условии равенства углов β_1 и φ_S [2] дает основания считать, что движение элемента происходит при выполнении неравенства

$$\beta_1>\varphi_{n_{дв}}, \tag{5}$$

где $\varphi_{n_{дв}}$ – угол трения при движении стружки по передней поверхности инструмента.

Формирование застойной зоны на первой стадии образования элемента происходит постепенно в течение определенного промежутка времени. В этот период происходит уплотнение материала впереди резца, связанное с пластической и упругой деформацией, а на передней поверхности резца выполняется неравенство

$$\beta_1\le\varphi_{n_{пок}}\ . \tag{6}$$

где $\varphi_{n_{пок}}$ – угол трения при схватывании стружки с передней поверхностью инструмента.

Изменение коэффициента трения на передней поверхности резца при переходе из одной стадии в другую приводит к тому, что вектор силы резания периодически меняет свое направление. Эти колебания происходят около своего среднего значения с высокой частотой, которая для условий резания находится в пределах от 10 до 60 кГц. Величина скачка коэффициента трения влияет на эффективность резания через силу резания.

Образование застойной зоны связано с процессами трения на передней поверхности, поэтому стружка, разделенная на элементы, несет информацию о трении на передней поверхности в зоне пластического контакта. Расчетное определение величины $x_э$ приводит к выражению

$$x_э=\frac{l_n}{2}\sin^2\varphi_n\left(2+\frac{1+B^2}{1-B^2}\right), \tag{7}$$

где l_n – длина контакта стружки по передней поверхности; φ_n – средний угол трения на передней поверхности резца; B – тангенс угла наклона условной плоскости сдвига.

Время прохождения режущим лезвием расстояния $x_э$ определяет время распространения деформаций вглубь заготовки при образовании элемента стружки. Толщина элемента в этом случае определяется формулой

$$h = x_э \cdot \sin(\beta_1 - \gamma_{cp}) \ . \qquad (8)$$

В результате разработки модели получены зависимости, позволяющие установить связь между процессами трения и образованием элементов, а также определить толщину формирования элементов стружки.

Список литературы

1. *Проскуряков С.Л.* Стружкообразование и тепловые процессы при высокоскоростной обработке жаропрочных сплавов. // Справочник. Инженерный журнал. - № 4, 2009. С. 41 - 43.
2. *Рыкунов А.Н.* Тонкое точение. Математическая модель, режимные границы, физические особенности и технологические возможности процесса / Рыбинск: РГАТА, 2003. – 258 с.

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК В УСЛОВИЯХ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ

Представлены характерные примеры зданий, использующие ветротурбины и ветрогенераторы как часть собственной конструкции. Выявлена необходимость комплексного внедрения ветроэнергетических установок с учетом градостроительной ситуации. Публикация выполнена в рамках ГК 16.552.11.7064 от 13.07.2012 г.

Ключевые слова: *Ветрогенератор, ветротурбина, ветроэнергетическая установка, ветроэнергетический потенциал.*

На современном этапе развития общества, растущие потребности в энергопотреблении вступают в противостояние с необходимостью защиты окружающей среды от техногенного воздействия (углекислотное загрязнение и загрязнение веществами, сопутствующими горению углеводородного топлива, увеличение влаги и тепла в атмосфере и т.д.). Использование возобновляемых источников энергии, в частности ветроэнергетики, как экологически более выгодных, позволит снизить уровень загрязнения и получать свыше 50 000 млрд. кВт•ч/год, то есть около 30 процентов производства электроэнергии всеми электростанциями России [1].

В России энергетические ветровые зоны находятся, в основном, на побережье и островах Северного Ледовитого океана, в районах Нижней и Средней Волги и Дона, побережье Каспийского, Охотского, Баренцева, Балтийского, Чёрного и Азовского морей. Отдельные ветровые зоны расположены в Карелии, на Алтае, в Туве, на Байкале. Но и в других географических зонах также можно использовать ветроэнергетические установки, если размещать их на высотных зданиях и комплексах зданий, однако это связано со значительными трудностями в проектировании, строительством и последующей эксплуатации таких объектов. Поэтому изучение взаимодействия ветровых потоков с крупномасштабными строительными сооружениями, проведение исследований с целью отбора энергии и переводом ее в полезные формы является актуальным и экономически значимым для современного общества.

Далее приведены результаты анализа применения ветряных турбин. Всемирный торговый центр в Бахрейне был построен в 2008 г. компанией Atkins совместно с компаниями Ramboll, Norwin и Elsam Engineering, рис. 1. Сооружением гигантского двигателя занималась Nass Murray&Roberts. Всемирный торговый центр включает в себя две 50-этажные башни высотой 240 м, соединенными между собой тремя мостами, с установленными на них тремя ветровыми турбинами диаметром 29 метров.

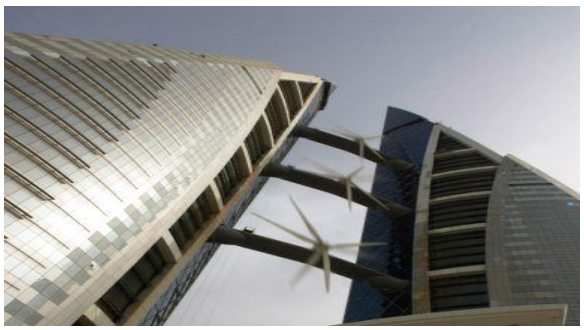


Рис. 1. Всемирный торговый центр в Бахрейне

Башни имеют форму паруса и направляют ветер, в большую часть времени дующий с Персидского залива, между ними, а также создают зону отрицательного давления позади, тем самым ускоряя ветер, проходящий между двумя башнями. Т.к. профиль башен сужается при увеличении высоты, а скорость берегового ветра увеличивается, то создается эффект почти равного режима скорости ветра на каждой из трех турбин. Данный эффект был подтвержден. Существование между башнями ветрового туннеля было подтверждено в ходе испытаний комплекса в аэродинамической трубе, показывающих, что здания создают S-образный поток, обеспечивающий, что любой ветер, приходящий под углом в 45° к каждой стороне центральной оси, будет создавать ветровой поток, перпендикулярный к турбинам. Ветровые турбины производят от 1100 до 1300 МВт•ч/год, что составляет около 11% до 15% потребления электроэнергии, необходимой торговому центру [1].

Многоквартирный дом британской архитектурная компания Waugh Thistleton с блоком офисов в нижней части сооружения на Рамсгейт-стрит (Ramsgate Street) в Лондоне, рис.2. Основной интерес представляет главный корпус - 14-этажная башня. По форме она напоминает самолётное крыло, поставленное вертикально. На стыке двух фасадов, образующих "изгиб крыла" установлены четыре ветровые турбины "Тихие революции" (Quietrevolution) от компании XCO2. Сама форма здания, ориентированного вдоль господствующего направления ветра, должна способствовать концентрации воздушных потоков вблизи стен, то есть создавать неплохой энергетический потенциал для ветровых турбин. Они должны обеспечить 13-15% от потребностей здания в электричестве.

Рис. 2. Здание на Ramsgate Street

Во внешней облицовке здания используется глазурованная керамическая плитка, создающая наименьшее трение для потока воздуха.

Благодаря всем решениям турбины должны производить примерно по 40 тысяч кВт•ч/год.

Уже реализован проект «Pearl River Tower» - главное здание управления Гуаньдуньской табачной компании (CNTC Guangdong Tobacco Company). Оно спроектировано в качестве первого здания наивысших стандартов энергоспособности и энергоэффективности в мире.

Рис. 3. Здание «Pearl River Tower»

На фасаде здания созданы 4 ветряных тоннеля для обеспечения локального энергоснабжения здания, рис. 5. Главной функцией этого тоннеля является возможность размещения в них стационарных ветряных генераторов малой мощности. В размещенных на технических этажах здания тоннелях установлены четыре ветряных генератора малой мощности типа «qr5» с ротационными лопастями вертикальной оси производства компании Великобритании «Quiet Revolution».

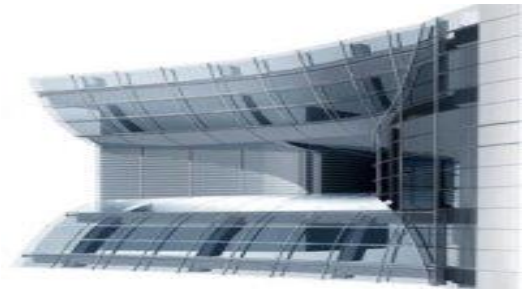


Рис. 3. Ветряные генераторы в здании «Pearl River Tower»

Доказано, что эффективность размещенных в ветряном тоннеле генераторов малой мощности гораздо выше, нежели аналогичных ветряных генераторов, размещенных на крышах зданий или вблизи зданий или же на открытом поле. В проекте «Pearl River Tower» генерирование энергии локального ветра покроет, по крайней мере, 1% всех затраченных энергоресурсов здания (в течение года один ветряной генератор произведет примерно 10 000 кВт/час электроэнергии).

По данным исследований О.И. Поддаевой и И.В. Дуничкина, для оценки перспектив малой ветроэнергетики важно рассматривать комплексно сложившеюся городскую среду: «расположение разноэтажных зданий увеличивает турбулентность воздушных потоков и повысит ветроэнергетический потенциал.» [2, С.226]. Таким образом, рассмотрение уже существующей застройки так же актуально для изучения возможностей размещения малых ветроэнергетических установок на зданиях. Кроме того, по данным тех же авторов опытная апробация так же требует рассмотрения не отдельных зданий а градостроительной ситуации в целом - «Пока произведена опытная установка и запуск для тестирования ветроэнергетической установки, мощностью в 5 кВт на крыше корпуса младших курсов МГСУ, …. 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.» [3, С.225]. Это свидетельствует о необходимости рассмотрения сети малых ветроэнергетических установок в градостроительном масштабе. Благодаря этому, выявлено главное отличие отечественных условий от зарубежного опыта, в котором больше превалируют отдельные здания с малыми ветроэнергетическими установками с возможностью подсоединения в интеллектуальные

локальные электросети типа «Smart Grid» или крупные комплексы ветропарки подключенные общую энергосистему [4, 5]. Для развития ветроэнергетики России целесообразно рассматривать размещение ветрогенераторов не на отдельных зданиях, а на градостроительных комплексах в масштабах городских кварталов.

Список литературы

1. Энергетический портал. Вопросы производства, сохранения и переработки энергии. «BWTC turbines spin for first time», World Architecture News, 08.04.2008г.
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. 2012. № 10. С. 221—228.
3. *Поддаева О.И., Дуничкин И.В., Прохорова Т.В.* Влияние пространственной организации реконструируемой жилой застройки на ветроэнергетический потенциал среды // Вестник МГСУ. 2013. № 2. С. 157-165.
4. *Дуничкин И.В., Шеповалова О.В.* Энергопотенциал зданий и территорий экопоселков на основе возобновляемых источников энергии. Элементы систем энергообеспечения как часть конструкций зданий. Международная научная конференция «Интеграция, партнерство и инновации в строительной науке и образовании». – М.: МГСУ, 2011. - стр. 337-341.
5. *Попель О.С.* Автономные энергоустановки на возобновляемых источниках энергии// Энергосбережение. – 2006 – №3. – с.60-65

05.23.01

М.А. Пыльцин

ФГБОУ ВПО «МГСУ», Кафедра инженерной геодезии,
Москва, pik-mgsu@mail.ru

РАСЧЕТ «УПРОЩЕННЫМИ» МЕТОДАМИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ, ИСПЫТЫВАЮЩИХ СЖАТИЕ С ИЗГИБОМ В ДВУХ ПЛОСКОСТЯХ, В СООТВЕТСТВИИ С ЕС2 И СП 52-101-2003

В статье выполнено сравнение «ручных» методов расчета железобетонных элементов, испытывающих сжатие с двухосным изгибом, в соответствии с пособием к СП 52-101, ЕС2 и деформационной моделью (по СП 52-101).

Ключевые слова: *расчет колонн, метод предельных усилий, сжатие с двухосным изгибом, деформационная модель, ЕС2, EN 1992.*

С появлением СП 52-101-2003 [1] основным методом расчета плоских сечений железобетонных стержневых элементов стал нелинейный деформационный метод.

Данный метод достаточно сложен в ручных вычислениях, так как требует нескольких итераций и интегрирования по сечению, но удобен для автоматизации и уже широко применяется в постпроцессорах расчетных комплексов.

В общем случае стержневые элементы, такие как колонны монолитных железобетонных зданий, испытывают сжатие с двухосным изгибом. Хотя для внутренних колонн железобетонных этажерок он незначителен, для угловых колонн он является определяющим.

Единственным относительно простым нормативным методом расчета стержневых элементов, испытывающих сжатие с изгибом в двух плоскостях, - метод, представленный в пособии к СП 52-101-2003 в п. 3.66 [4], при этом он применим для элементов только с угловой арматурой. В иностранной литературе, представлен упрощенный способ, напоминающий описанный в пособии к СП 52-101-2003 (ТКП EN 1992-1-1-2009 п. 5.8.9.4 [2]), но при этом он применим и для элементов с арматурой, «размазанной» вдоль граней.

Этот способ заключается в том, что при двухосном изгибе может быть использован следующий упрощенный критерий:

$$\left(\frac{M_{Edz}}{M_{Rdz}}\right)^a + \left(\frac{M_{Edy}}{M_{Rdy}}\right)^a \le 1{,}0, \qquad (5.39)$$

где $M_{Edz/y}$ — расчетный момент относительно соответствующей оси;

$M_{Rdz/y}$ — предельный момент в соответствующем направлении;

a — показатель степени:

для прямоугольных сечений:

N_{Ed}/N_{Rd}	0,1	0,7	1,0
a	1,0	1,5	2,0

здесь N_{Ed} — расчетное значение продольной силы;

$N_{Rd} = A_c f_{cd} + A_s f_{yd}$ — расчетное значение сопротивления сечения продольной силе; A_c — площадь брутто бетонного сечения; A_s - площадь продольной арматуры.

На рис. 1 показан трехмерный график (приведен по Concrete Design to EN 1992 [3]).

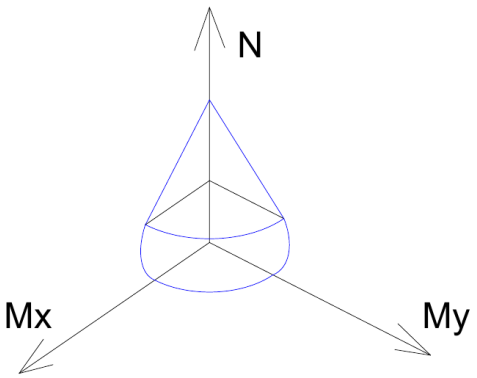


Рис. 1- Трехмерный график несущей способности (построен по аналогии с [3])

Для сравнения приведем вычисленные коэффициенты в соответствии с пособием к СП 52-101-2003 и ТКП EN 1992-1-1-2009 для разных процентов армирования от соотношения $N_{Ed}/N_{Rd:}$, при этом эффекты второго порядка, в качестве упрощения не учитывались. В запас расчета при расчете по пособию к СП 52-101 при $a_n <= 0.4$ также учитывалось условие: $a <= 1.6$. Как видно из рис. 2 в районе $\frac{N}{N_{ult}}$ 0-0,4 Еврокод более консервативен, в районе 0,8-1 – пособие к СП 52-101.

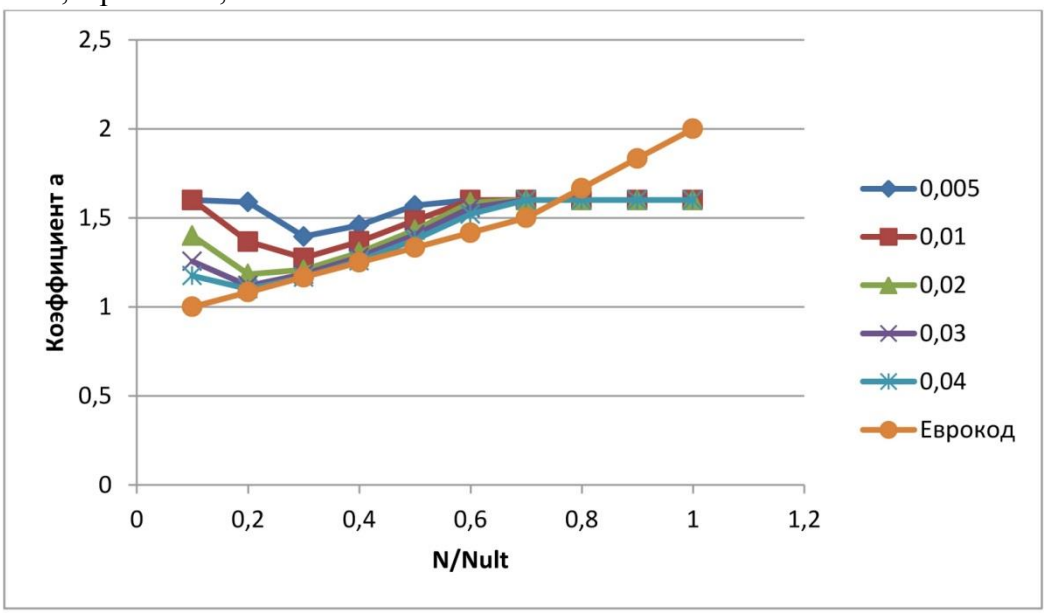


Рис. 2- Сравнительный график коэффициентов а для разных для разных процентов армирования по СП 52-101 и по Еврокоду

В качестве эталонного EC2 и СП 52-101 указывают деформационный метод. Поэтому был выполнен расчет сечений для N_{Ed}/N_{Rd} =0,1 с 0,5% армирования и N_{Ed}/N_{Rd} =0,9 с 0,5% армирования с использованием представленных методов и деформационной модели.

Принятые исходные данные:

Поперечное сечение - 400х400 мм, бетон В25, армирование А400, ф16, $N_{ult} = 265$ т.

Представленные расчеты выполнялись в программе NormCAD. Для исключения влияния программной реализации значения M_{ult0} так же определяются по деформационной модели.

На рис. 3, 4 представлены срезы (графики M_x – M_y , т*м) для сечения 400х400 для N_{Ed}/N_{Rd} 10% и 90% соответственно.

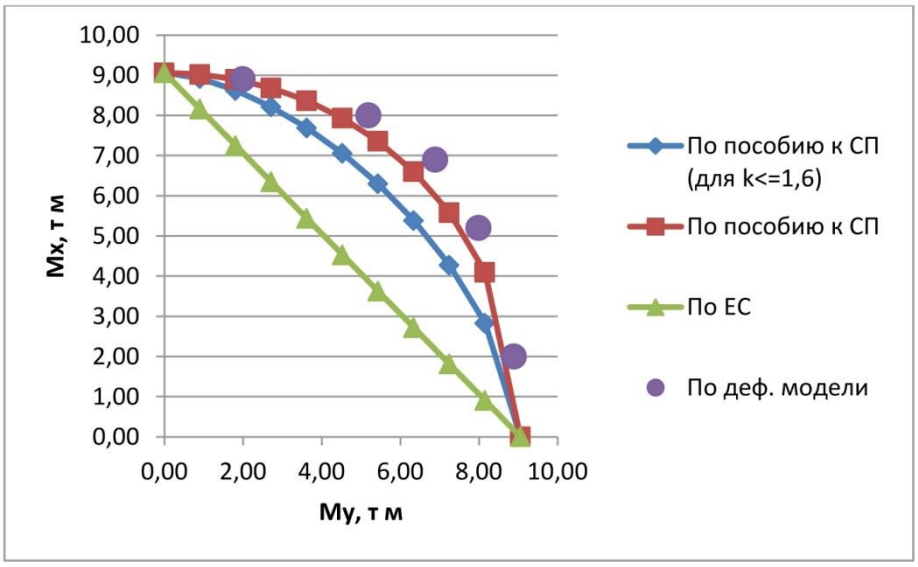


Рис. 3 Сравнительные графики несущей способности для N/Nult=0.1

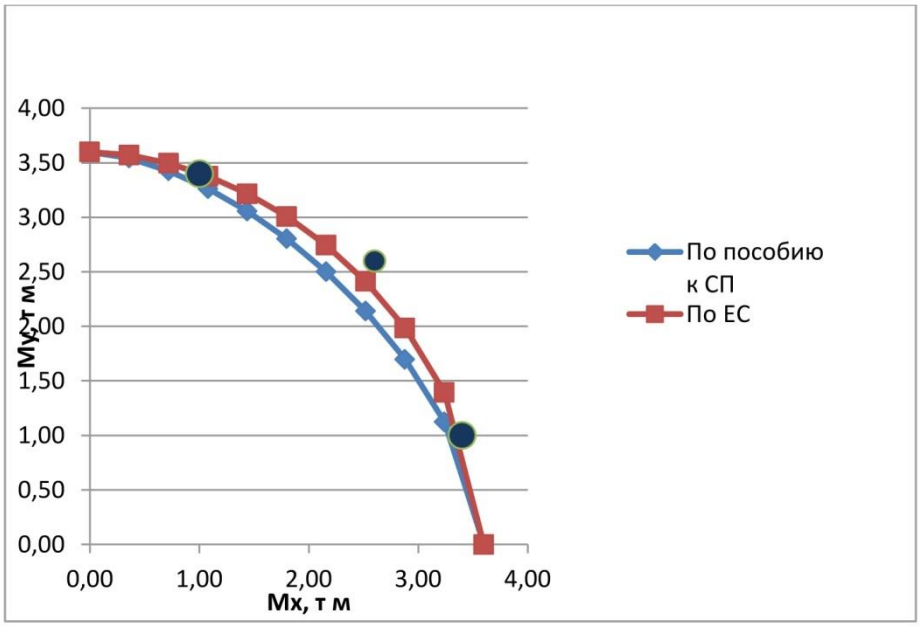


Рис. 4 Сравнительные графики несущей способности для N/Nult=0.9

В соответствии с представленными графиками для интервала значений N_{Ed}/N_{Rd} 0,4-1 все методы расчета показывают близкие результаты, для интервала 0-0,4 метод, представленный в ЕС2, для стержней только с угловым армированием дает большой запас.

Метод, предлагаемый ЕС2, возможно использовать для сечения с распределенным вдоль грани армированием. На рис. 5 (график $M_x - M_y$, т $*$ м) показано сравнение результатов по этому методу и по деформационной модели. Наибольшее различие по сравнению с деформационной моделью составляет около 30%, что достаточно для предварительных расчетов.

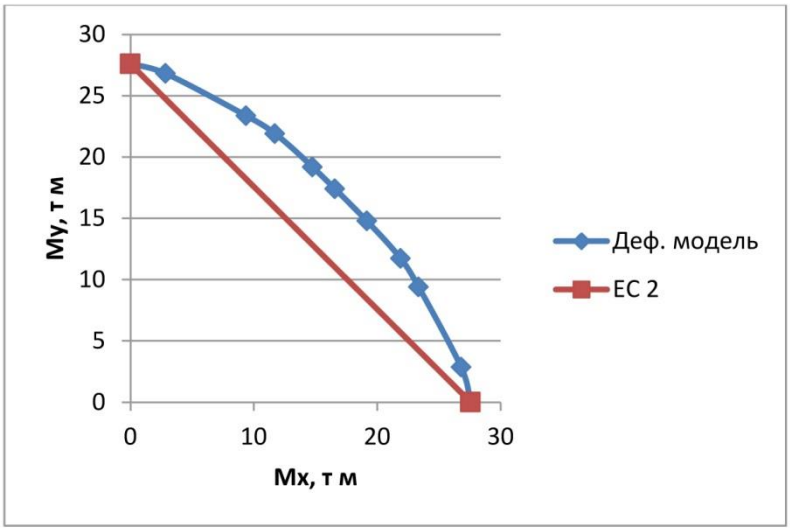


Рис. 5 Сравнительные графики несущей способности для случая равномерно распределенного вдоль грани армирования.

Как видно из представленных примеров все «ручные» методы расчета дают результаты в запас прочности. Метод, представленный в СП 52-101, показывает близкие результаты для всех значений N_{Ed}/N_{Rd}.. Метод, предлагаемый EC2, более консервативен в интервале значений N_{Ed}/N_{Rd} 0-0,4.

Для элементов с равномерно-распределенным вдоль грани армированием максимальная разница метода EC2 с деформационной моделью достигает 30% для рассмотренных случаев; для таких элементов он может быть использован для первой оценки прочности сечений. Для более точных расчетов, особенно при $M_x = M_y$ и значениях N_{Ed}/N_{Rd} 0-0,4 , необходимо использовать построенные графики несущей способности или деформационную модель.

Список литературы

1. СП 52-101-2003 // М., ФГУП ЦПП, 2008. –54 с.
2. ТКП EN 1992-1-1-2009 // Минск, РУП "Стройтехнорм", 2010. – 112 с.
3. Concrete Design to EN 1992(Second Edition), Lawrence Martin, John Purkiss // Butterworth-Heinemann, 2006. – 464 pages.
4. Пособие к СП 52-101-2003 // М., ОАО ЦНИИПромзданий, 2005. – 214 с.
5. Model Code 2010 - Final draft. Volume 2, Walraven and other // Lausanne, CEB-FIP, 2012.

05.23.01

А.А. Пятницкий, С.А. Крутик, М.А. Журенкова

ФГБОУ ВПО «МГСУ», Кафедра инженерной геодезии,
г. Москва

ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ УГЛЕПЛАСТИКА В ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЯХ

Статья посвящена использованию углепластиков для увеличения несущей способности клееных деревянных конструкций. При этом углепластик может быть расположен на поверхности конструкции или между ламелями. Выполнена оценка эффективности использования таких технических решений. Показано, что использование углепластиков является весьма эффективным способом повышения их несущей способности. При относительной высоте сечения 1/15l несущая способность балок может быть увеличена до 2-х раз. При меньшей относительной высоте балки эффективность использования углепластика возрастает. Норма прогиба 1/150 пролета обеспечивается практически для всех балок с относительной высотой сечения превышающей 1/25l.

Ключевые слова: *деревянные конструкции, усиление, композиционные материалы.*

В течение многих десятилетий в аэрокосмической и авиационной промышленности применяются композиционные материалы, армированные углеродным, арамидным, полиэфирным и стекловолокнами. Их несомненными достоинствами являются высокие прочность и модуль упругости, малый вес, технологичность, невосприимчивость к агрессивным внешним факторам, способность повторять практически любые формы конструкции и т.д.

В строительстве такие материалы в основном используется для усиления строительных конструкций при реконструкции [1,2].

В новом строительстве этот материал можно использовать в конструкциях из клееной древесины. Известен ряд технических решений, в которых для увеличения несущей способности деревянных клееных конструкций между ламелями вклеиваются усиливающие полосы.

Патент США № 5026593 предусматривает возможность размещения полосы из высокопрочного материала между ламелями балки. Такое усиление приводит к существенному увеличению несущей способности конструкции (рис.1).

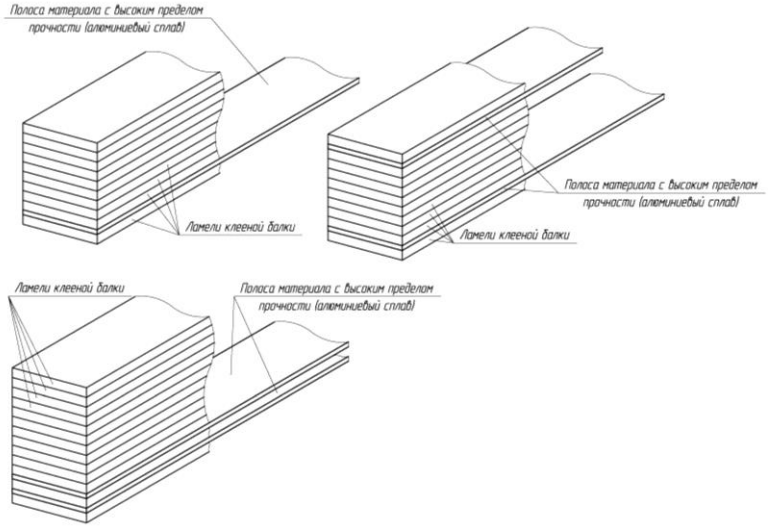


Рис. 1.

В патенте немецких авторов № WO 01/70498 A1 предлагается конструктивный элемент из клееной древесины, усиленный композитным холстовым материалом. Направление волокон в таком материале может быть разнообразным (рис. 2). В НИиППЛ «ПиК» МГСУ предложена конструкция балки с использованием композитного материала – углепластика. Особенностью разработки является то, что материал укладывается в пазы. Пазы смежных ламелей могут иметь разную длину, увеличиваясь от нижних ламелей к верхним и наоборот. Сечение паза может быть выполнено разной формы – прямоугольной, трапециевидной.

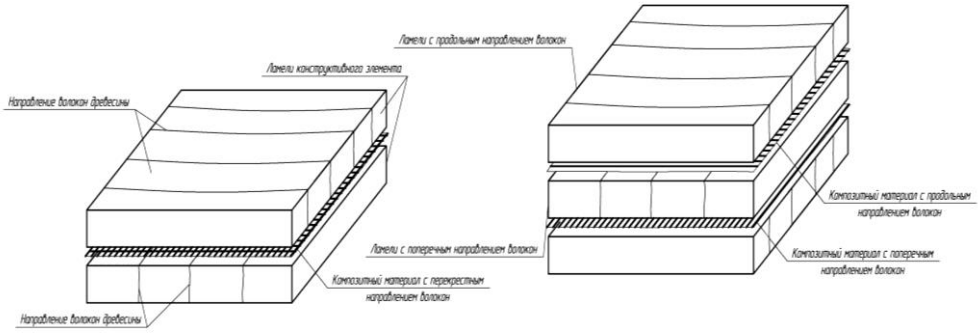


Рис. 2.

В одной ламели может быть выполнено более одного паза (рис. 3). Такая балка может быть эффективно использована как несущий элемент междуэтажных перекрытий и покрытий зданий и сооружений.

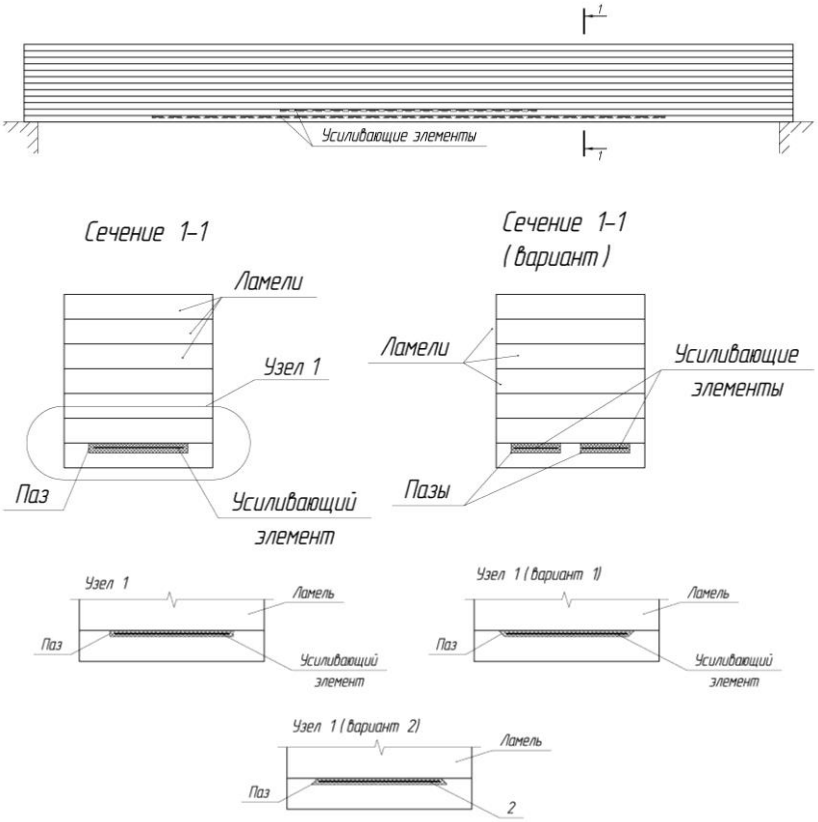


Рис. 3. Техническое решение, предложенное НИиППЛ «ПиК» МГСУ.

В настоящей статье выполнена оценка эффективности использования клееных конструкций со вставками из углепластика.

Характеристики наиболее распространенных в отечественной практике композиционных материалов приведены в таблице. Для оценки эффективности их использования была

выполнена проверка несущей способности и жесткости различных вариантов конструктивных решений.

Рассматривался случай симметричного армирования, обеспечивающий равнопрочность балки по сечению. Учет армирования деревянной балки производился по аналогии с расчетом изгибаемых ж/б элементов.

В таблице представлены результаты расчетной оценки влияния углепластика на прочность и жесткость балки. При этом использовались следующие условные обозначения: k – отношение разрушающих нагрузок усиленной и не усиленной балки; $f_{ну}$ - прогиб не усиленной деревянной балки; $f_у$ – прогиб усиленной деревянной балки; Δ – процентное отношение «$f_{ну}$» к «$f_у$».

Наиболее эффективным материалом усиления являются углепластиковые ламели марки Sika CarboDur M толщиной 0,14см.

Таблица 1.Применяемые в отечественной практике углеволоконные материалы и их влияние на прочность и жесткость конструкции.

Характеристики материала				кол-во слоев	k	$k_{ср}$	$f_{ну}$	$f_у$	$f_{у,ср}$	Δ
-				шт.	-	-	см	см	см	-
Холст Sika Wrap-200C	E=	23000	кН/см^2	1	1,3018	1,302	9,45	9,1177	9,117	4%
	R=	390	кН/см^2							
	t=	0,011	см	7	1,3022			9,1168		
	b=	12	см							
Холст Sika Wrap-300C HiMod NW	E=	64000	кН/см^2	1	1,2561	1,256	9,45	8,3695	8,368	11%
	R=	260	кН/см^2							
	t=	0,014	см	7	1,2565			8,3663		
	b=	12	см							
Холст Sika Wrap-400C HiMod NW	E=	64000	кН/см^2	1	1,3476	1,348	9,45	8,0409	8,038	15%
	R=	260	кН/см^2							
	t=	0,019	см	7	1,3484			8,0355		
	b=	12	см							
Ламинат Sika CarboDur M	E=	21000	кН/см^2	1	3,3697	3,370	9,45	6,6282	6,628	30%
	R=	240	кН/см^2							
	t=	0,14	см							
	b=	12	см							

На рис. 4 показан график зависимости отношения разрушающих нагрузок усиленной и не усиленной балки от отношения пролета балки к высоте сечения. При расположении углепластика на внешних гранях балки. Из графика видно, что эффективность использования углепластика обеспечена практически при любых высотах балки.

На рис. 5 показаны зависимости отношения длины пролета к прогибу усиленной балки от отношения пролета балки к высоте сечения усиленной балки.

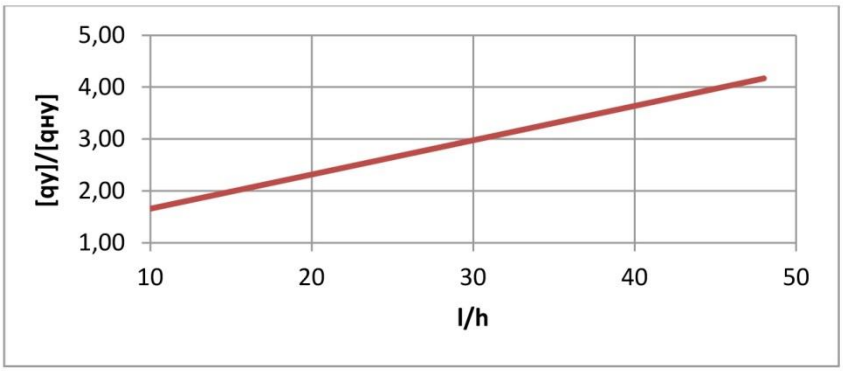


Рис. 4. Зависимость отношения разрушающих нагрузок усиленной и не усиленной балки от отношения пролета балки к высоте сечения.

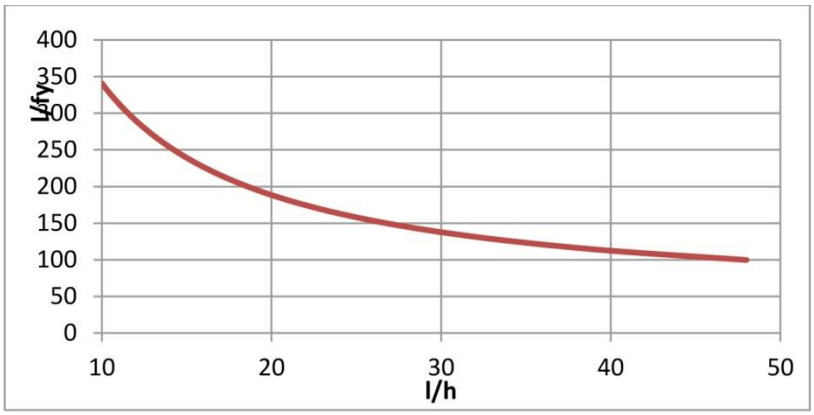


Рис. 5. Зависимость отношения длины пролета к прогибу усиленной балки от отношения пролета балки к высоте сечения усиленной балки.

Из приведенного графика видно, что только при относительной высоте сечения балки меньше 1/30*l* решающей для нее оказывается проверка не прочности, а жесткости. Для экспериментальной проверки эффективности использования углепластика была изготовлена модель балки. Расчетное сечение модели показано на рис. 8. Пролет модели равнялся 170см. Модель была усилена полосой из углепластика Sika. Механические характеристики древесины приняты по [3]. Расчетом было установлено, что разрушающее усилие для не усиленной балки составляет 80кг, а усиленной – 285кг. Разрушение балки с односторонним расположением углепластика должно происходить в результате разрушения древесины сжатой зоны балки.

Испытание модели производилось в 2 этапа.

На 1-ом этапе балка загружалась в середине пролета сосредоточенной силой 85кг. Фактический прогиб составил 51мм, расчетный – 48,7мм. Это показывает, что в первом приближении расчет балки, усиленной углепластиком можно производить аналогично расчету изгибаемых ж/б элементов.

На 2-ом этапе нагрузка на балку была доведена до 270кг. Несмотря на значительные прогибы, балка при данной нагрузке не разрушилась.

Рис. 6. Расчетное сечение модели балки.

Выводы:

Усиление деревянных балок углепластиками отечественного и зарубежного производства является эффективным способом повышения их несущей способности. Так, например, при относительной высоте сечения 1/15*l* И проценте армирования 0,28% несущая способность балки может быть увеличена до 2-х раз (процент армирования составляет 0,28%). При меньшей относительной высоте эффективность использования углепластика возрастает.

Норма прогиба 1/150*l* обеспечивается практически для всех усиленных балок с относительной высотой сечения, превышающей 1/25*l*.

В инженерных расчетах при оценке несущей способности и деформативности деревянных балок, усиленных углепластиками, расчет может выполняться по аналогии с расчетом ж/б конструкций.

Список литературы

1. *Шилин А.А., Пшеничный В.А., Картузов Д.В.* Внешнее армирование железобетонных конструкций композиционными материалами // ОАО «Издательство «Стройиздат», Москва, 2007, 184 с. с ил.

2. *Мэттьюз Ф., Ролингс Р*. Композитные материалы. Техника и технология. – М.: Техносфера, 2004. – 408с.

3. СНиП II-25-80 Деревянные конструкции. М.: Стройиздат, 1983.

05.13.10

К.В. Рочев

Ухтинский государственный технический университет,
факультет информационных технологий,
кафедра информационных систем и технологий,
Ухта, krochev@ugtu.net

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СБОРА И ОЦЕНКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СТУДЕНТА ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ МАТЕРИАЛЬНОГО СТИМУЛИРОВАНИЯ

В статье предлагается система, которая, с одной стороны, позволит облегчить выбор кандидатов на повышенные стипендии, с другой стороны даст инструмент для распределения остатков стипендиального фонда. Кратко приводятся алгоритмы: расчёта индексов студента (обобщённых показателей количества и качества работы студента по различным направлениям за семестр) и распределения специально отведённой части стипендиального фонда в соответствие с полученными индексами. Также производится сопоставление двух различных моделей организации процесса сбора данных по студенческой деятельности для последующей оценки.

Ключевые слова: *рейтинг, индекс, стипендия, материальное стимулирование, повышение активности студентов, информационная система.*

Введение

Основной тенденцией современного образования является его демократизация, требующая повышения активности студентов во время учебного процесса. В соответствии с Постановлением Правительства Российской Федерации «О порядке совершенствования стипендиального обеспечения…» [4] в целях совершенствования стипендиального обеспечения студентов осуществляются увеличение стипендиального фонда учреждений высшего профессионального образования и назначение повышенных стипендий студентам, имеющим достижения в учебной, научно-исследовательской, общественной, культурно-творческой и спортивной деятельности.

В данной статье предлагается система, которая, с одной стороны, позволит облегчить выбор кандидатов на повышенные стипендии, с другой стороны даст инструмент для распределения «избытков/остатков» стипендиального фонда, возникающих из-за отсутствия стипендиальных выплат студентам имеющим «тройки» за экзамены, либо не сдавшим сессию в срок. В совокупности предложенный механизм может обеспечить мощный катализатор студенческой активности в вузе.

Система материального стимулирования студентов

На данный момент в Ухтинском Государственном Техническом Университете (УГТУ) успешно функционирует «Система материального стимулирования профессорско-преподавательского состава вуза» (АИС «СМС ППС») [2, 3], подтвердившая свою эффективность [6]. На основе этого опыта было решено создать систему учёта и оценки результатов деятельности студентов за семестр для распределения остатков стипендиального фонда пропорционально достижениям, что даст студентам стимул к повышению активности и более чёткие ориентиры для всестороннего развития.

Для решения задачи оценки деятельности предлагается применение общевузовской автоматизированной информационной системы сравнительной оценки деятельности студентов – модульной индексно-рейтинговой системы с «плавающей» базой (далее Индексная система, ИС).

Эта система будет накапливать сведения о количественных и качественных показателях достижений студентов за семестр, на основании которых для каждого из них рассчитываются, так называемый, *итоговый индекс* (интегральный показатель эффективности деятельности).

В системе оценки студентов выделено 6 основных разделов:

1) «Учебная деятельность», включающая результаты балльно-рейтинговой системы (БРС), либо оценки за сессию и курсовые проекты, с соответствующими весовыми коэффициентами – данные, которые целесообразно выгружать автоматически из информационной системы деканата (в случае наличия таковой в вузе);
2) «Дополнительная учебная деятельность», учитывающая победы в олимпиадах и другие достижения, связанные с учебой;
3) «Научно-исследовательская и инновационная деятельность»;
4) «Культурно-творческая деятельность»;
5) «Спортивная деятельность»;
6) «Общественная деятельность».

Каждому студенту по каждому показателю ставится в соответствие его, так называемый, *частный индекс*, представляющий собой количественное значение (*объём*) показателя (с учетом градаций и их весов), нормированное его максимальным среди всех студентов значением. Таким образом, по смыслу частный индекс студента по данному показателю – это доля его результата относительно лидера по данному показателю (хотя можно рассматривать частный индекс и как место студента по данному показателю среди всего коллектива).

Частный индекс по каждому разделу вычисляется как линейная свертка его частных индексов по всем показателям данного раздела, нормированная максимумом среди всех студентов. И, наконец, *итоговый индекс* студента есть линейная свертка его частных индексов по всем разделам, нормированная максимальным итоговым индексом среди всех студентов.

В формулах (1), (2) приведён пример расчёта частных индексов по разделам:

$$I_j^i = 10^3\left(\sum_x \alpha_{jx} I_{jx}^i\right) / M_1;\ \text{j = 1, 2, … , m} \tag{1}$$

$$M_1 = \max_{1\le p\le N}\left(\sum_x \alpha_{jx} I_{jx}^i\right);\quad \text{j = 1, 2, … , m} \tag{2}$$

В формулах (1), (2):

x – порядковый номер Показателя внутри категории;
j – номер Раздела в Индексной системе;
i – номер студента в Индексной системе;
α_{jk} – вес k-го Показателя j-го Раздела;
I_{jk} – индекс произвольного Показателя k-го Показателя j-го Раздела для i-го студента;
I^i_j – индекс i-го студента по j-му Разделу;

Получаемые таким образом числа (все они меньше или равны 1) умножаются на 1000 и округляются до ближайшего целого, так что лидер по какому-то показателю, разделу или по всей системе всегда получает частный индекс, равный 1000 по соответствующему показателю (разделу) или итоговый индекс, равный 1000, по всей системе.

На основании частных индексов по разделам имеет смысл вычислять две фундаментальные обобщенные характеристики деятельности, характерные для любого творческого коллектива в соответствии с формулой Г. Данилова (3) [1]:

$$I = L \cdot H, \tag{3}$$

где:

I – итоговый индекс;

L – индекс лидерства (показывает, насколько далеко студент продвинулся по наиболее успешному для него направлению по сравнению с его коллегами);

H – индекс гармонии (показывает, насколько гармоничной, сбалансированной была деятельность студента).

Пример расчёта поощрительных выплат

Используя индексы лидерства и гармонии можно применить один из наиболее подходящих способов расчета поощрительных выплат, представленный формулой (4) [1]:

$$A = a \cdot I \cdot \left[1 + \lambda_1 (2L_н - 1)^{k_1} + \lambda_2 (2H_н - 1)^{k_2}\right] \cdot F, \tag{4}$$

где:

A – размер дополнительной выплаты студенту (руб.);

F – общий университетский фонд выплат (руб.);

I – итоговый индекс студента;

$L_н$ – (нормированный) индекс лидерства студента ($0 \le L_н \le 1$);

$H_н$ – (нормированный) индекс гармонии студента ($0 \le H_н \le 1$);

k_1, k_2 – параметры, регулирующие численность выделенных лидеров и аутсайдеров по индексам лидерства и гармонии соответственно;

λ_1, λ_2 – параметры, регулирующие значимость эффектов «лидерства» и «гармонии» в размере надбавок;

a – нормирующий множитель.

Основная цель системы материального стимулирования в УГТУ – создать условия для формирования среди студентов конкурентной среды в борьбе за престижную позицию в *индекс-листе* (моральный аспект) и весомую стимулирующую надбавку к стипендии (материальный аспект) путем интенсификации и повышения эффективности своей деятельности по всем ее направлениям. В связи с этим размер надбавки конкретного студента прямо зависит от объема и качества выполненной им за семестр работы по результатам расчетов ИС.

В формулу для начисления надбавок заложены следующие основные принципы:

1) *Принцип адекватности* – величина стимулирующей надбавки любого студента тем больше, чем больше его итоговый индекс I, т.е. чем больше объем и выше качество выполненной им работы.

2) *Принцип лидерства* – для каждого студента стимулирующая надбавка будет тем выше, чем выше он оказался в ранжированном списке *по наиболее успешному* для него разделу (чем больше у него *индекс лидерства* L), то есть, образно говоря, насколько далеко продвинулся студент «вглубь».

3) *Принцип гармонии* – размер надбавки возрастает, если деятельность студента в отчётном году была более гармоничной, универсальной (с более высоким *индексом гармонии* H), т.е. реально охватывала большее количество направлений (разделов Индексной системы) – «работа вширь».

4) *Принцип конкуренции* – в силу специфики индивидуальных индексов студента в индексной системе с плавающей базой – любое увеличение надбавки какому-то, более активному студенту происходит только за счет соответствующего уменьшения выплат другим, менее активным.

Моделирование процесса сбора данных

Далее мы представим два различных варианта организации сбора данных для последующей оценки деятельности студентов.

Первый вариант – сделать систему полностью распределённой и поручить весь ввод данных, так называемым, *центрам достоверной информации* – независимым отделам, имеющими необходимые сведения (как, например, в Индексной системе стимулирования ППС УГТУ) [3]. В этом случае, необходимо выделить следующие роли (они могут несколько меняться в различных вузах, но общая картина сохраняется):

1) **Администратор** – несет ответственность за поддержание системы в рабочем состоянии. Обладает доступом ко всей системе. Просматривает текущие справочники, отчёты о деятельности студентов. Вносить изменения может только в справочники системы.

2) **Студент** – взаимодействует с системой в режиме «только чтение». Просматривает отчёты (все, кроме надбавок) и текущие значения показателей.

3) **Бухгалтерия** – начисляет выплаты на основе выполненных системой расчётов.

4) **Система «Деканат»** (или работник деканата) – предоставляет данные об учебной деятельности студентов – например, результаты БРС.

5) **Научно-исследовательская часть** – предоставляет данные о научно-исследовательской деятельности студентов.

И т. д.;

Проще всего показать границы системы можно при помощи контекстной диаграммы, представленной на **Рисунке 1** (диаграмма построена с применением нотации Гейна-Сарсона).

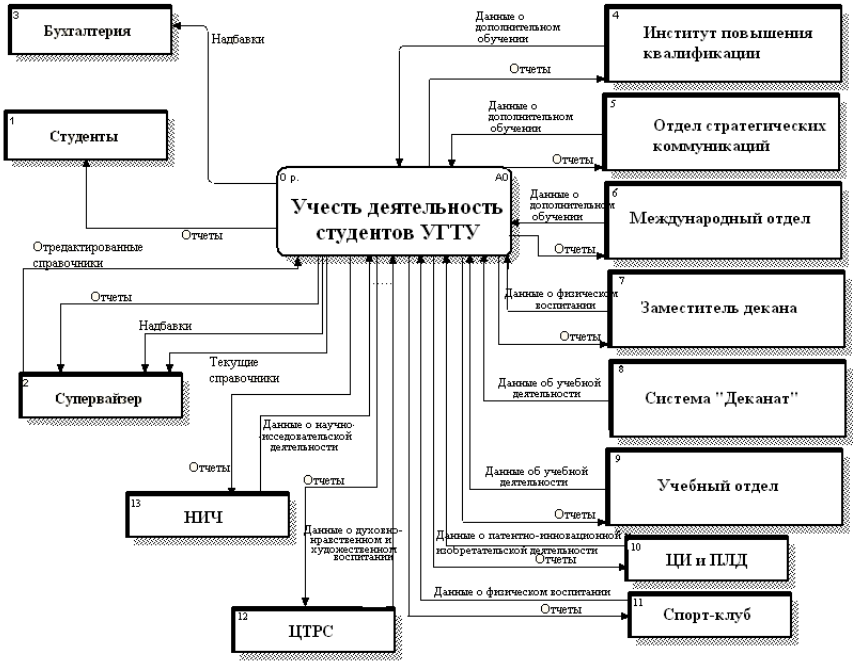


Рис. 1 – Границы процесса «Учесть деятельность студента»

Такой вариант позволяет обеспечить набольшую степень «фильтрации данных» – отсеивания недостоверных сведений, но сильно нагружает ответственные отделы, отрывая их от основной работы.

Второй вариант – назначить ответственное лицо в каждой студенческой группе.

При этом сохраняются роли «Администратор», «Студент», «Система «Деканат», «Бухгалтерия» и лица, дающие оценки, а все остальные заменяются специально назначенным в группе *заместителем старосты по ИС, ответственным за ввод данных в Индексную систему.* За свою работу заместитель старосты по ИС получает оценку от заведующего кафедрой или администратора ИС в соответствующем показателе системы – то есть некоторую надбавку к стипендии (как для старосты и профорга).

На экспериментальном этапе внедрения ИС выбран Второй вариант организации процесса внесения данных, поскольку он обеспечивает независимость работы системы в рамках каждой студенческой группы и специальности, а также расширяет сферу самоуправления студенческого сообщества.

Особенности сбора и обработки данных

Все показатели в ИС учитываются за отчётный семестр, особо весомые показатели могут быть пролонгированы на один или более последующих семестров.

По показателям-оценкам данные вводятся независимо от инициативы студента (подтверждающие документы от студентов не требуются), а по всем остальным – по инициативе студента с предоставлением набора подтверждающих документов в отсканированном виде.

Эти документы собираются заместителями старост по ИС, копии набора документов предоставляются на кафедры и в деканаты – в полном составе, после чего оттуда передаются в ответственные отделы – в составе, соответствующем профилю отдела.

После внесения данных их подтверждение документами проверяется ответственными отделами вуза. В идеале копии документов в электронном виде прикрепляются к соответствующим показателям в базе данных ИС.

Для дополнительного контроля достоверности, полноты и своевременности подготовки вносимых данных, просмотр содержимого системы доступен всем студентам и преподавателям университета. Это позволяет обеспечить «перекрестный контроль», при котором все желающие могут направить замечания и претензии ответственным за ввод данных, и они, при необходимости, внесут соответствующие коррективы.

Процессы, происходящие при внесении данных в систему, отражены на **рисунке 2.**

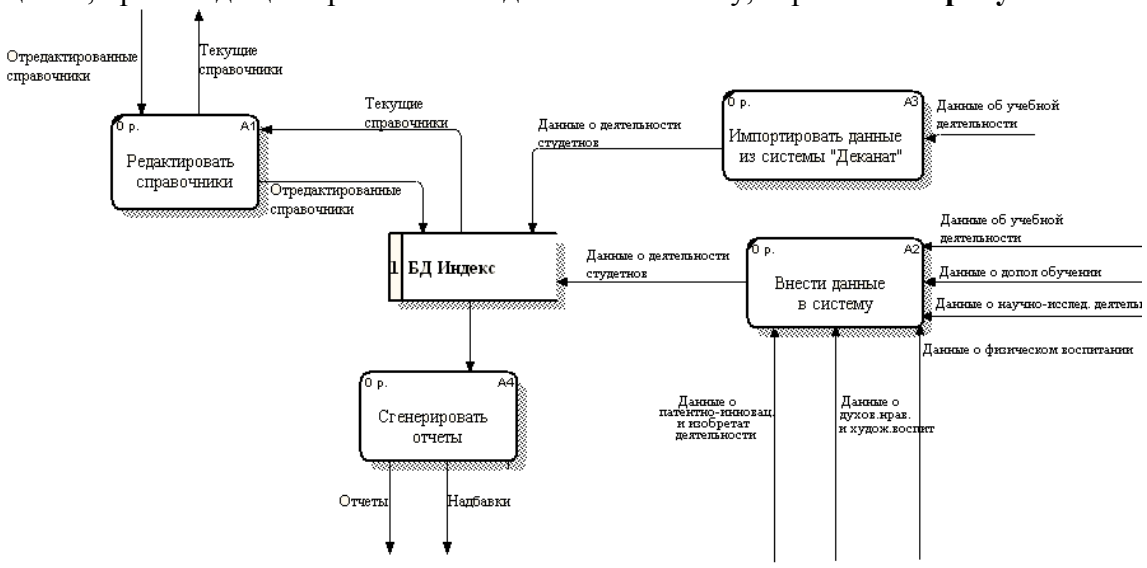


Рис. 2 – Диаграмма потоков данных первого уровня

Преимущества, открываемые системой

Система позволит обеспечить ряд преимуществ для студентов, учебного заведения, а также для организаций-партнёров вуза.

Преимущества для вуза

1. Систематизация поощрения студентов.
2. Повышение внеучебной активности студентов.
3. Привлечение студентов к наиболее актуальным направлениям деятельности.
4. Гибкая балансировка направлений развития студентов – изменяя веса показателей и направлений, можно легко управлять направлением деятельности всего коллектива.
5. Сбор статистики по активности студентов для оперативного использования.
6. Получение картины *тенденций* развития вуза, его истории в цифрах и фактах.
7. Получение оперативной информации для оценки и аккредитации вуза.
8. Отслеживание *траектории* движения каждого студента (в многомерном факторном пространстве) за весь период его обучения в вузе.

Преимущества для студентов

1. Прямая зависимость между качеством учебной деятельности и размером ежемесячных выплат.
2. Дополнительный стимул к всестороннему гармоничному развитию.
3. Ясный вектор развития – студент может посмотреть, что сделать для повышения качества своего обучения и, как следствие, своей стипендии и статуса вуза.
4. Накопление портфолио в единой базе данных.
5. Попадание в топ-лист будет являться значительным плюсом при трудоустройстве – своеобразным попаданием в базу данных перспективных кадров.
6. У тех, кто при обычной системе начисления стипендии считал, что не имеет возможности её получить, появляется стимул к активному росту и развитию – во всех направлениях (либо в наиболее успешном).
7. Расширение сферы самоуправления студенческого коллектива.

Преимущества для партнёров вуза

1. Возможность получения актуальных сведений о качестве обучения претендента на работу: списка личных заслуг и рейтинга.
2. Получение списка одарённых студентов для подбора кадров, назначения именных стипендий.

Заключение

Ожидается, что применение Индексно-рейтинговой системы оценки деятельности студентов и их материального стимулирования приведёт к увеличению вовлеченности студентов в учебный процесс, научно-исследовательскую, культурно-творческую, спортивную и общественную деятельность и, как следствие, к повышению качества образования. Другими ожидаемыми результатами внедрения системы являются: возможность более тесной интеграции образования и производства, возрастание уровня закрепления *талантливой* молодёжи в областях образования и науки.

Исследование выполнено при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, соглашение 14.132.21.1031 «Система индексно-рейтинговой оценки и материального стимулирования студентов вуза».

Список литературы

1. *Данилов Г.В.* Применение обобщённых характеристик деятельности преподавателя для формирования конкурентной среды в университете // Университетское управление: практика и анализ. 2007. № 1. С. 22-25.
2. *Данилов Г.В., Цхадая Н.Д., Эмексузян А.Р.* Материальное стимулирование профессорско-преподавательского состава на основе университетской индексной системы. Университетское управление: практика и анализ. 2007. № 3. С. 49-52.
3. Положение «Об оценке деятельности и материальном стимулировании ППС по итогам работы за учебный год». УГТУ, Ухта 2012.
4. Постановление Правительства Российской Федерации от 18.11.2011 № 945 «О порядке совершенствования стипендиального обеспечения обучающихся в федеральных государственных образовательных учреждениях профессионального образования».
5. *Рочев К.В.* Расширение области применения информационной системы материального стимулирования – общий и программный аспекты. Всероссийский конкурс научно-исследовательских работ студентов и аспирантов «Инновационные технологии в образовательном процессе» (или «Технологии электронного обучения в образовательном процессе»). Ноябрь 2011 г. Сборник научных работ. Том 1. Белгород 2011. С. 455-457.
6. *Рочев К.В., Цхадая Н.Д., Данилов Г.В.* Эффективная система материального стимулирования профессорско-преподавательского состава вуза как катализатор формирования конкурентной среды в преподавательском коллективе. «Key instruments of human co-existence organization: economics and law»: materials digest of the XIIth International Scientific and Practical Conference (Kiev, London, October 27 – November 1, 2011). Odessa: InPress, 2011. С. 112-115.

05.02.07

А.Н. Рыкунов, С.Л. Проскуряков

Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А. Соловьёва,
авиатехнологический факультет,
кафедра «Резание материалов, станки и инструменты имени С.С. Силина»,
Рыбинск, rykunov2007@yandex.ru, rmsi@rgata.ru

ОБОБЩЕННАЯ ВЗАИМОСВЯЗЬ ИЗНОСА ТВЕРДОСПЛАВНОГО ИНСТРУМЕНТА С ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКИМИ УСЛОВИЯМИ ПРОТЕКАНИЯ ПРОЦЕССОВ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ

Статья посвящена вопросам прогнозирования стойкости твердосплавного инструмента на основе установления экспериментально-аналитической зависимости интенсивности его изнашивания с термомеханическими условиями протекания процессов точения.

Ключевые слова: *износ твердосплавного инструмента, токарная обработка, температура, сила резания, математическая модель изнашивания.*

Целью работы является повышение эффективности токарной обработки на основе экономически эффективного назначения временных параметров плановой замены инструмента.

Несмотря на большое количество исследований, посвященных изучению и аналитическому описанию процессов изнашивания инструмента, известные зависимости имеют ограниченную область применения. Одной из причин этого является разнообразие механизмов износа. Но известно, что суммарная интенсивность протекания абразивных, адгезионных и других процессов изнашивания определяется термомеханическими явлениями в зоне резания.

Наиболее полно эти явления отражает энергетический критерий *A*, включающий в себя температуру и силу резания. Получив его из анализа уравнения баланса механической и тепловой энергий, С.С. Силин сделал предположение [2] о взаимосвязи критерия с интенсивностью изнашивания инструмента. Для периферийного фрезерования металлов им было установлено, что отношения интенсивности изнашивания и критерия *A* к своим оптимальным значениям связаны между собой степенной зависимостью с показателем степени *K*. Позднее аналогичные выражения получены и для других случаев лезвийной обработки.

Но попытки практического применения этих зависимостей также выявили узкий диапазон их применимости: при изменении технологических условий величина *K* менялась значительно и, как правило, непредсказуемо.

Изучая процессы точения, нам удалось достаточно надежно проследить жесткую взаимосвязь степени *K* с еще одним интегральным показателем процесса резания – углом наклона условной плоскости сдвига β_1, град:

$$h_{ОЛП}/h_{ОЛОП} = (A/A_O)^K, \qquad (1)$$

где $K=-0{,}62/B^{1,4}$ при $V \le V_O$ и $K=2{,}6/B^{1,4}$ при $V>V_O$;

$A=a_1b_1c\rho\theta/P_Z$, $A_O=a_1b_1c\rho\theta_O/P_{Zmin}$ – критерий *A* и его оптимальное значение;

$B=\mathrm{tg}\beta_1=0{,}5(\mathrm{Pe}/\mathrm{F})^{0,05\sqrt{F}}\mathrm{E}^{-0,02E}(1-\gamma_Ф)^{-0,2}(1+h_З/\rho_1)^{-0,05}$ – тангенс угла наклона условной плоскости сдвига;

$\mathrm{Pe}=Va_1/a$; $\mathrm{F}=\beta\varepsilon\lambda_P/\lambda$; $\mathrm{E}=\rho_1/a_1$ – безразмерные комплексы;

$h_{ОЛ}=h_P/(V\tau)$, $h_{ОЛП}=h_{РП}/(V\tau)$, $h_{ОЛОП}=h_{РП}/(V_O\tau_O)$ – относительный линейный износ, его предельное и оптимальное значения;

$\gamma_Ф = \gamma - 0{,}25E^{1+0{,}25\gamma}\mathrm{erf}(5/E)$ – фактический передний угол, рад;
γ, β, ε – углы резца: передний, заострения и при вершине, рад;
ρ_1 – радиус округления режущей кромки, м;
$h_Р$, $h_{РП}$ – радиальный износ резца и его предельное значение, м;
V, V_O – скорость резания и её оптимальное значение, м/с;
a_1, b_1 – среднеинтегральные толщина и ширина среза, м;
S, t – оборотная подача и глубина резания, м;
τ, T – текущее время резания и стойкость резца, с;
T_O – стойкость резца на оптимальной по износостойкости скорости, с;
P_Z, P_{Zmin} – сила резания и её минимально-стабилизированное значение, Н;
θ, θ_O – температура и оптимальная температура резания, ^OC;
$\lambda_Р$, λ, $a_Р$, a – коэффициенты тепло – и температуропроводности инструментального и обрабатываемого материалов, Дж/(м·с·^OC), м^2/с;
$c\rho$ – удельная объемная теплоемкость обрабатываемого металла, Дж/(м$^3\cdot{}^OC$).

Взаимосвязь критерия A с относительным износом резца определяется следующим образом. Для данной пары инструмент-деталь с заданными технологическими условиями обработки определяется оптимальная по износостойкости инструмента скорость резания. Выбираются 7-9 значений скорости, располагающихся слева и справа от точки оптимального резания, для каждого из которых проводятся стойкостные эксперименты с измерением величин θ, P_Z, $h_Р$ и расчетом A, $h_{ОЛ}$ (рис.1).

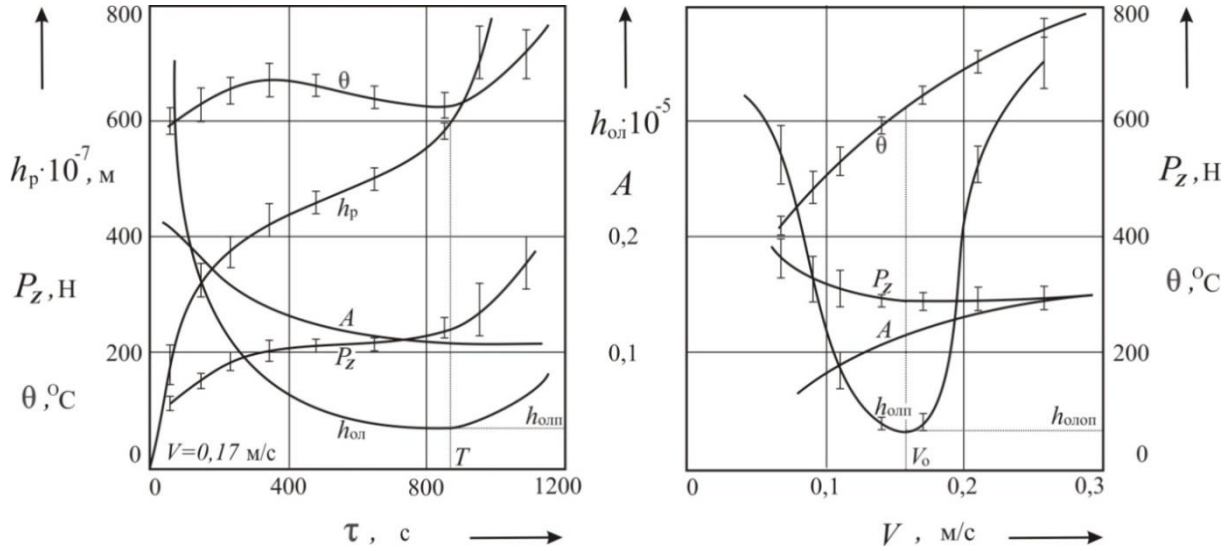


Рис. 1 – Влияние времени τ и скорости резания V на характеристики процесса точения сплава ЖС6К резцом ВК8: $t = 10S = 0{,}2r = 2\rho_1 = 0{,}10$ мм

На изменение температуры резания за период стойкости оказывают влияние два конкурирующих фактора – увеличиваются и общее количество выделяющейся теплоты, и теплоотвод из зоны резания. Поэтому влияние износа резца на температуру неоднозначно, зависит от его геометрии, критерия Ре, и в целом невелико (кроме периода катастрофического износа). В то же время сила резания с увеличением τ, $h_Р$ постоянно растет, что во всех случаях приводит к уменьшению энергетического критерия A.

В начале катастрофического износа происходит изменение темпа уменьшения критерия A (в ряде случаев наблюдается и его рост), а относительный износ принимает свое минимальное значение $h_{ОЛП}$, названное предельным, поскольку предполагает безусловное прекращение работы. Полученные данные позволяют изучить влияние скорости резания на параметры P_Z, θ, A, $h_{ОЛП}$ и сделать следующие выводы.

1. Минимальная величина относительного износа при точении труднообрабатываемых материалов незначительно отличается при использовании рациональных марок как твердого

сплава, так и сверхтвердых материалов. Но существенно более высокий уровень оптимальных скоростей резания при использовании последних, в сочетании со слабо экстремальной стойкостной зависимостью, позволяет рекомендовать, например, киборит для операций чистового точения даже жаропрочных хромоникелевых сплавов.

2. Глубина резания почти не влияет на величину $h_{ОЛП}$ и лишь незначительно (через изменение температуры) – на оптимальную скорость.

3. Зависимость $h_{ОЛП} = S$ имеет экстремальный характер, что связано с наличием граничной толщины среза, при которой собственно процесс резания переходит в процесс упруго-пластического деформирования. При этом параметр a_{1min} определяется сочетанием величин ρ_1 и B [1].

Путем отнесения текущих величин $h_{ОЛП}$ и A к их значениям на оптимальных скоростях резания $h_{ОЛОП}$ и $A_О$ в логарифмических координатах (рис. 2) строится искомая зависимость (1).

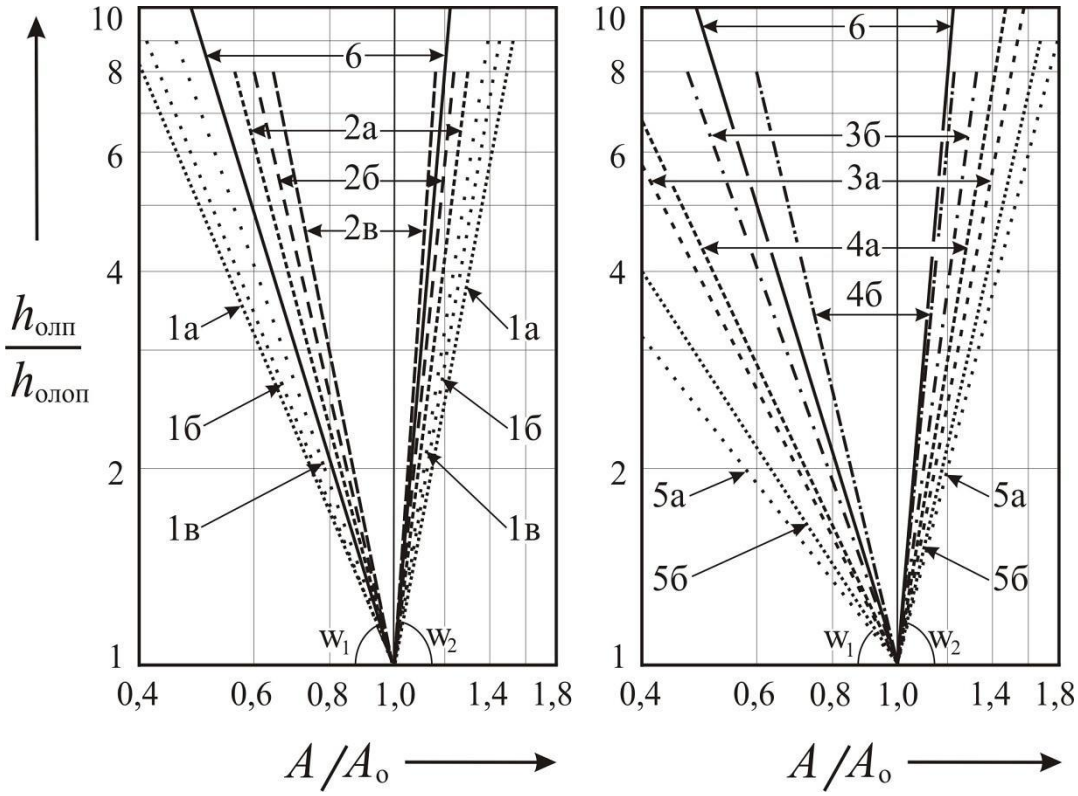


Рис. 2 – Влияние технологических условий обработки на показатель степени $K = \mathrm{tg}\,w$ зависимости $h_{ОЛП}/h_{ОЛОП} = (A/A_О)^K$ при точении:

1 – ЖС6К – Киборит: $t = 0{,}15r = 25\rho_1 = 0{,}50$ мм;
1а – $S = 0{,}20$ мм/об; 1б – $S = 0{,}10$ мм/об; 1в – $S = 0{,}04$ мм/об;
2 – ЖС6К – ВК8: $r = 5S = 10\rho_1 = 0{,}50$ мм;
2а – $t = 0{,}50$ мм; 2б – $t = 0{,}10$ мм; 2в – $t = 0{,}05$ мм;
3 – ХН73МБТЮ – ВК10ХОМ: $t = 0{,}20r = 5\rho_1 = 0{,}10$ мм;
3а – $S = 0{,}15$ мм/об; 3б – $S = 0{,}04$ мм/об;
4 – ХН73МБТЮ – ВК8: $t = 0{,}20r = 2\rho_1 = 0{,}10$ мм;
4а – $S = 0{,}15$ мм/об; 4б – $S = 0{,}04$ мм/об;
5 – Х18Н9Т – Т15К6: $r = 10S = 25\rho_1 = 1{,}00$ мм;
5а – $t = 0{,}50$ мм; 5б – $t = 0{,}10$ мм;
6 – обобщенная зависимость $h_{ОЛП}/h_{ОЛОП} = (A/A_О)^{K*}$ при $K* = 5KB^{1,4}$.

Первоначально зависимость $K=f(B)$ была отмечена при исследовании влияния величины сечения среза на выходные параметры процессов чистового точения хромоникелевых сплавов. Оказалось, что при уменьшении размеров среза, особенно его толщины, возрастает

экстремальный характер зависимостей, то есть увеличивается показатель степени *K*. Одновременно уменьшается расчетное значение тангенса угла наклона условной плоскости сдвига, что и побудило рассмотреть возможность взаимосвязи величин *K* и *B*.

В дальнейшем оказалось, что уравнение (1) отражает значительно более общую закономерность: аналогичные результаты были получены при точении сталей 45, 40Х, 12Х18Н9Т, сплавов ХН73МБТЮ, ХН77ТЮР, ЖС6К, ОТ4, ВТ3-1, Д16, ЛС59-1 резцами как из твердых сплавов (ВК8, ВК6М, ВК10ХОМ, Т15К6), так и сверхтвердых материалов (эльбор, киборит, ниборит). Геометрия резцов варьировалась в широком диапазоне значений, глубина резания – в пределах от 0,02 до 1 мм, подача – от 0,01 до 0,20 мм/об.

В качестве примера на рис.2 приведены результаты экспериментальных исследований различных пар инструмент-деталь на разных режимах резания. На основе полученных кривых вида $h_{ОЛП}$, P_Z , θ , $A = f(V)$ – см. рис. 1, в логарифмических координатах строились зависимости $h_{ОЛП} / h_{ОЛОП} = f(A / A_O)$ и проводился расчет величины K=tgw. Расхождение найденного значения $K=f(w)$ с расчетной величиной $K=f(B)$ не превышало 10%. В соответствии с этим, все зависимости $h_{ОЛП} / h_{ОЛОП} = f(A / A_O)$ могут быть «сведены» в единую функцию, приняв: $K^*=5KB^{1,4}$. В этом случае все экспериментальные значения «ложатся» на прямые 6 с углом наклона w_1=arctg(-3,06) и w_2=arctg13,1.

Установленная взаимосвязь представляет научный и практический интерес и позволяет решать различные задачи. Например – получать стойкостные зависимости без постановки трудоемких экспериментов с достаточной точностью в диапазоне скоростей резания: при $V = (0,7…1,5)V_O$. Действительно, уравнение (1) может быть преобразовано к виду

$$T = h_{РП} \cdot [\theta_O \cdot P_Z/(\theta \cdot P_{Zmin})]^K / (V \cdot h_{ОЛОП}) , \qquad (2)$$

где $K = -0,62/B^{1,4}$ при $V \le V_O$ и $K = 2,6/B^{1,4}$ при $V > V_O$.

Уравнение (2), с учетом известных уравнений для определения величин θ_O,,P_Z,,θ,,P_{Zmin},,$h_{ОЛОП}$ [1,2], делает возможным расчет стойкости инструмента. Сравнение расчетных (сплошные линии) и экспериментальных данных (вертикальные отрезки показывают разброс значений) приведен на рис. 3. Прогнозирование момента наступления катастрофического износа позволяет повысить технологическую надежность операций механической обработки.

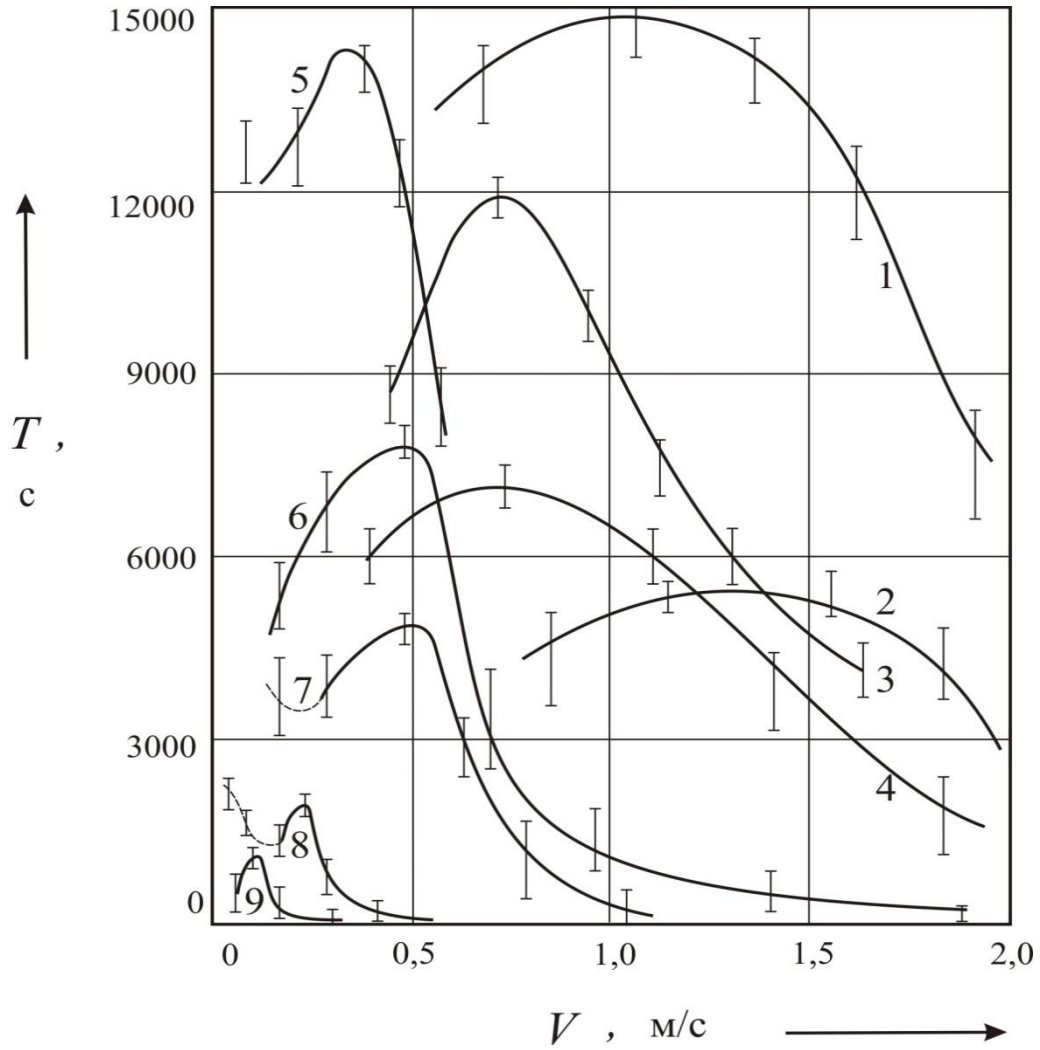


Рис. 3 – Влияние скорости резания на стойкость резцов
(критерий радиального износа h_p=0,06 мм) при точении:

1 – 40Х – Т15К6: $t = 10S = r = 25\rho_1 = 1{,}00$ мм;
2 – 30ХГСА – Т15К6: $t = 2S = 0{,}2r = 5\rho_1 = 0{,}2$ мм;
3 – 40Х – ВК8: $t = 10S = 2r = 20\rho_1 = 1{,}00$ мм;
4 – 12Х18Н9Т – ВК8: $t = 5S = 2r = 20\rho_1 = 1{,}00$ мм;
5 – ОТ4 – ВК6М: $t = 2S = r = 20\rho_1 = 0{,}50$ мм;
6 – ВТ3-1 – ВК8: $t = 2{,}5S = r = 10\rho_1 = 0{,}50$ мм;
7 – ХН77ТЮР – ВК6М: $t = 10S = 2r = 40\rho_1 = 1{,}00$ мм;
8 – ХН70МВТЮ – ВК8: $t = 10S = 2r = 20\rho_1 = 1{,}00$ мм;
9 – ЖС6К – ВК8: $t = 5S = r = 10\rho_1 = 0{,}50$ мм.

Список литературы

1. *Рыкунов А.Н.* Тонкое точение. Математическая модель, режимные границы, физические особенности и технологические возможности процесса [Текст] / А.Н. Рыкунов. – Рыбинск: РГАТА, 2003. – 258 с.
2. *Силин С.С.* Метод подобия при резании материалов [Текст] / С.С. Силин. – М.: Машиностроение, 1979. – 152 с.

05.23.03

А.Г. Рымаров, В.В. Савичев

ФГБОУ ВПО «Московский государственный строительный университет»,
Москва, rymarov@yandex.ru, vvsavichev@mail.ru

ВОЗДУШНЫЙ РЕЖИМ РЕГЕНЕРАТИВНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ В АДМИНИСТРАТИВНОМ ЗДАНИИ С ЗИМНИМ САДОМ

Рассмотрен воздушный режим административного здания с зимним садом при организации регенерации воздуха при работе рециркуляционной системы вентиляции. Приведена схема реализации воздушного режима в зимнем саду. Анализ результатов моделирования воздушного режима в помещении зимнего сада показал адекватность скоростей движения воздуха требуемым значениям.

Ключевые слова: *зимний сад, воздушный режим, скорость движения воздуха.*

Введение.

Загрязненный наружный воздух трудно очищать от газообразных вредных примесей, для чего нужны химические методы, при которых происходят химические реакции преобразования веществ в безопасные соединения с последующей их утилизацией. Как правило, такой очисткой воздуха пренебрегают из-за дороговизны эксплуатации или технической невозможности применения, что приводит к ситуации, когда вредные газы от загруженных магистралей современных крупных городов находятся в воздухе помещений всех зданий и сооружений. В данном случае обычная система вентиляции приносит не пользу, а вред, так как помещения активно заполняются вредными примесями. Предлагаемая система регенерации воздуха способна обеспечить человека воздухом с требуемым газовым составом по концентрации диоксида углерода и кислорода [1]. При очистке воздуха от диоксида углерода с применением фотосинтеза растений организовано воздухораспределение в зимнем саду, при котором растения успевали бы изменять газовый состав воздуха [1].

1. Последовательность регенерации воздуха:

1. воздух забирается из помещений административного здания и по воздуховодам и подается в зимний сад;
2. воздух распределяется по всему объему зимнего сада, контактируя с листьями растений;
3. очищенный воздух по воздуховодам перемещается в помещения административного здания;
4. все повторяется в течение рабочего дня [1].

2. Особенности организации воздушного режима в помещении зимнего сада.

Подробное рассмотрение пункта 2 представленной последовательности работы регенеративной системы вентиляции сводится к описанию организации воздухообмена предлагаемого для помещения зимнего сада. На рис. 1 представлена схема организации воздухообмена в зимнем саду. Воздух подается от потолка вниз мелкими струйками с начальной скоростью 0,2 м/с. Создается медленное течение воздуха сверху вниз, совместно с углекислым газом, который тяжелее воздуха. Такой подход позволяет повысить эффективность действия растений в зимнем саду при реализации очистки воздуха.

Для визуализации картины движения воздуха в объеме зимнего сада проведено моделирование воздушного режима зимнего сада с применением программы ANSYS-CFX, результаты которого показаны на рис. 2, где показано распределение скоростей воздуха в зимнем саду с затуханием скорости воздуха в нижней зоне. Объем зимнего сада является зоной потенциального течения воздуха, с ламинарным характером течения, белыми овалами

условно показаны растения в зимнем саду. Движение воздуха получено при заданных начальных и граничных условиях.

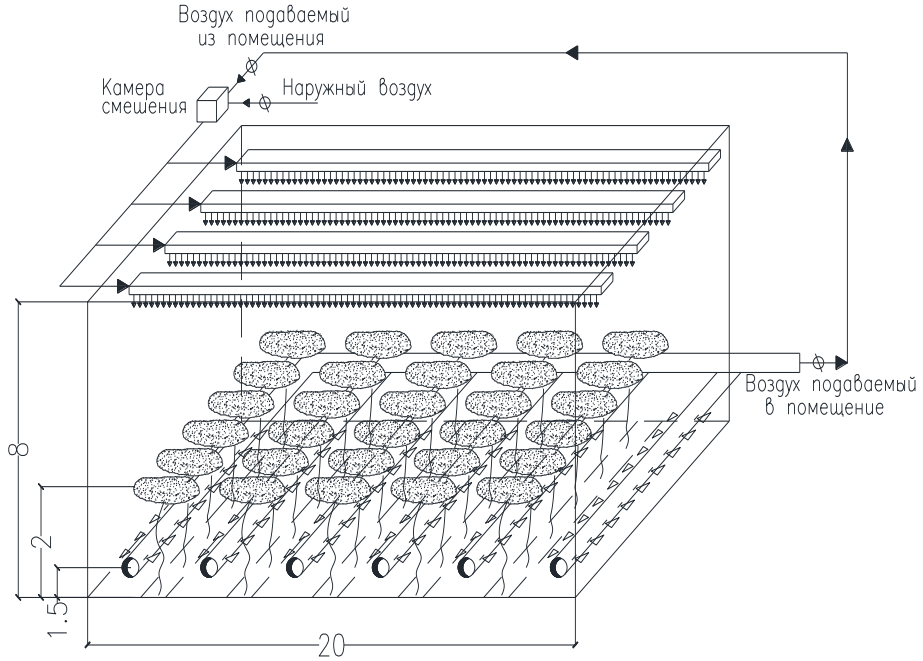


Рис. 1 Схема организации поступления воздуха в зимний сад.

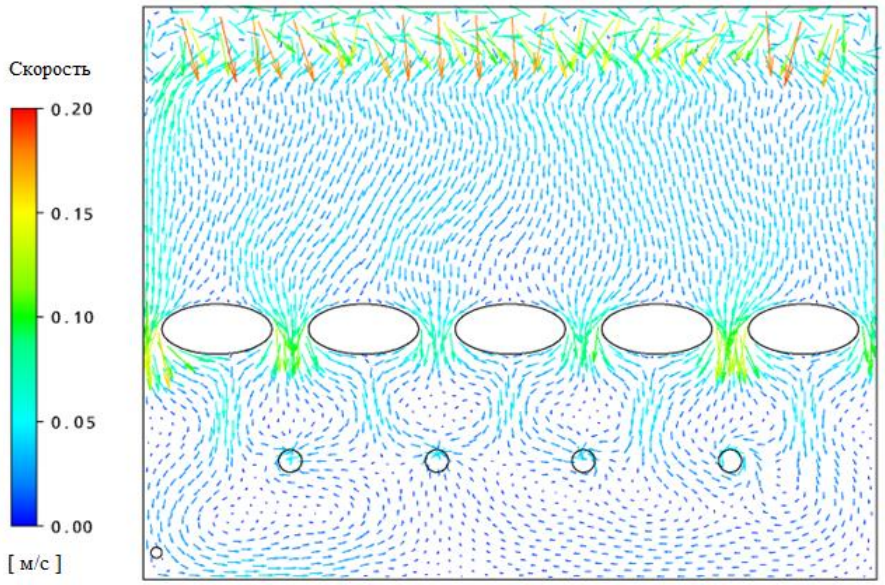


Рис. 2 Векторная диаграмма подвижности воздуха в зимнем саду

Полученные результаты позволили определить плоскость нейтрального тока скоростей на расстоянии от почвы до уровня, где скорость потока близка к нулю, что наблюдается на расстоянии 0.5-1 метра при геометрических размерах зимнего сада: 8 м - высота, 20 м - длина и 15 м - ширина. В этой плоскости происходит завершение регенерации загрязненного воздуха. В данной плоскости организуется воздухозабор очищенного воздуха для подачи его в помещения административного здания. На рис. 2 данная плоскость нейтрального тока показана кружками в нижней зоне помещения зимнего сада.

3. Выводы.

Воздушный режим зимнего сада рассматривается совместно с газовым и влажностным режимами, что позволяет найти минимальные размеры зимнего сада с максимальной эффективностью по очистке воздуха от углекислого газа. Вопросы теплофизики ограждений

здания рассмотрены с учетом работы [3]. Вопросы качества внутреннего воздуха в помещениях освещены в работе [4].

Очищенный воздух позволит повысить производительность труда и снизит заболеваемость сотрудников, что повышает окупаемость зимнего сада при длительной эксплуатации. Статья подготовлена по данным полученным в рамках выполнения ГК № 16.552.11.7064 от 13.07.2012 г.

Список литературы

1. *Рымаров А.Г., Савичев В.В.* Регенеративная система вентиляции административного здания с «зимним садом» // Естественные и технические науки, № 6, 2012, сс.600-601.
2. *Гагарин В.Г.* Теплофизические проблемы современных стеновых ограждающих конструкций многоэтажных зданий //Academia. 2009. № 5. С. 297—305.
3. *Sakr, W., Weschler C.J., Fanger P.O.* The impact of sorption on perceived indoor air quality // Indoor Air. 2006. vol. 16, no 2, pp. 98—110.

05.09.03

К.А. Смотрин

Поволжский государственный технологический университет,
Факультет природообустройства и водных ресурсов,
кафедра «Безопасность жизнедеятельности»,
Йошкар-Ола, smotrik@rambler.ru

ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗНАЧЕНИЯ НЕКОТОРЫХ НЕНОРМИРУЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ ЧАСТИЧНЫХ РАЗРЯДОВ

В статье рассматривается возможность применения в качестве диагностического параметра ненормируемой величины – напряжения, при котором в дефекте изоляции начинаются частичные разряды, и дается его определение, основанное на вероятностном подходе.

Ключевые слова: *частичные разряды, диагностирование высоковольтного электрооборудования, напряжение возникновения частичных разрядов.*

Техническое состояние высоковольтного электроэнергетического оборудования в значительной степени определяется состоянием его изоляции. Одним из весьма перспективных методов её оценки представляется метод диагностики, основанный на измерении параметров частичных разрядов (ЧР) [1,2,6].

Проблема практического применения данного метода обусловлена тем, что изменение во времени диэлектрических свойств изоляции происходит под воздействием множества факторов и, в общем случае, представляет собой случайный процесс. Достоверность оценки фактического состояния изоляции и прогнозирования остаточного срока службы во многом определяется обоснованностью выбора диагностических параметров, способами их измерения и методиками их интерпретации.

Возможность применения напряжения U_{pd}, при котором в дефекте изоляции начинаются ЧР, в качестве диагностического параметра обусловлена тем, что данное напряжение непосредственно связанно с параметрами дефекта изоляции [8]. Однако следует отметить определенные трудности, связанные с практическим определением данного напряжения, вызванные неопределенностью соответствующего ему термина.

Так в [3] используется термин "напряжение возникновения частичных разрядов", которое равно наименьшему значению напряжения, при котором интенсивность ЧР становится равной или превышает нормированную интенсивность при повышении напряжения на объекте испытания. Там же указано, что "нормированная интенсивность" это предельно допустимое численное значение какой-либо характеристики интенсивности ЧР, установленное для данного объекта испытаний стандартом на электрооборудование конкретного типа.

Исходя из вышесказанного, следует отметить несоответствие термина "напряжение возникновения частичных разрядов" фактическому содержанию, так как в действительности ЧР возникают намного раньше, чем их интенсивность становится равной или превышает нормированную интенсивность при повышении напряжения на объекте испытания.

Кроме того, в качестве характеристики интенсивности ЧР обычно принимается кажущийся заряд q, а его предельно допустимое значение соответствует возникновению начальных ЧР, не приводящих к заметному разрушению изоляции при длительном воздействии [5,9]. Так как наличие и характер повреждений можно установить лишь после разрушающего контроля, а признак – степень повреждения – имеет качественный характер, то точность такой классификации недостаточна для анализа состояния изоляции. Также необходимо учитывать, что при неизменном кажущемся заряде действительное значение

заряда, нейтрализуемого при ЧР, может изменяться в значительных пределах в зависимости от места и характера дефекта [1,7]. В работах [1,6,7], где приведено теоретическое решение задачи по нахождению U_{pd}, отсутствуют рекомендации по практическому нахождению данной величины, а также нет единого термина, обозначающего его. Так в [6] напряжение, при котором во включении начинаются ЧР, называется "напряжение ЧР", в [7] – "напряжение возникновения разряда"; в [1] – "напряжение, при котором во включении возникают разряды".

В связи с указанными проблемами и возникла необходимость разработки нового подхода к определению напряжения, при котором в дефекте изоляции начинаются ЧР, пригодного для практического использования.

Известно, что размер δ газового включения (дефекта) – величина случайная; случайным является и место расположения включения в толще изоляции, поэтому и U_{pd} является случайной величиной. Проведенные автором исследования показали, что распределение значений U_{pd} близко к нормальному закону с математическим ожиданием $M(U_{pd})$ и среднеквадратическим отклонением $\sigma(U_{pd})$. Следовательно, подход к определению напряжения, при котором в дефекте изоляции начинаются ЧР, должен быть вероятностным. В качестве характеристики интенсивности ЧР должна использоваться частота следования разрядов, или, что более корректно с позиций теории случайных процессов, – средняя интенсивность потока ЧР. Это связано с тем, что в отличие от кажущегося заряда, средняя интенсивность потока ЧР не зависит от параметров объекта измерения и измерительной схемы, что объективно повышает достоверность результатов сравнительного анализа результатов измерений.

Традиционный подход к определению возможности появления ЧР основан на сравнении воздействующего на изоляцию напряжения U и напряжения U_{pd}, а вероятность P развития разряда в дефекте изоляции равна:

$$\left.\begin{aligned} P &= 1 \text{ при } U \geq U_{pd} \\ P &= 0 \text{ при } U < U_{pd} \end{aligned}\right\} \qquad (1)$$

При выполнении условия (1) число ЧР в единицу времени в случае, если напряжение пробоя газового включения $U_{пр.}$ и напряжение гашения $U_{г.}$ не зависят от полярности напряжения, определяется выражением [9]:

$$n = 4f\,\frac{U - \eta U_{pd}}{U_{pd}(1-\eta)}, \qquad (2)$$

где $\eta = \dfrac{U_{г}}{U_{пр.}}$;

f – частота воздействующего напряжения, Гц.

В соответствии с (2) наименьшее число ЧР в единицу времени имеет место при $U=U_{pd}$ и равно $n_{min}=4f$. При частоте воздействующего напряжения f =50 Гц n_{min} =200 с$^{-1}$, что соответствует 1 ЧР за четверть периода.

Формулы (1,2) являются теоретическими, следуют из рассмотрения схемы замещения изоляции с дефектом [1], и во многом не отражают особенности развития ЧР в реальных изоляционных конструкциях.

Известно, что и напряжение пробоя газового включения $U_{в.пр.}$, и напряжение гашения $U_{г.}$ являются случайными величинами [4], а значит и количество ЧР в единицу времени является случайной величиной.

При вероятностном подходе условие (1) уже не является корректным вследствие того, что даже если математическое ожидание напряжения возникновения ЧР $M(U_{pd})$ больше чем напряжение приложенное к изоляции, вероятность пробоя P не равна нулю:

$$P > 0 \text{ при } U < M(U_{pd}). \qquad (3).$$

Из (3) можно сделать вывод, что частота следования ЧР может быть меньше теоретической, равной 1 ЧР за четверть периода. Поэтому возникает необходимость

определения минимальной частоты следования импульсов ЧР и соответствующего ей напряжения, которое мы будем называть напряжением начала ионизации U_i.

Для этого необходимо определить границу, когда во включении только начинаются периодические разряды и, следовательно, вероятность появления ЧР мала. В предположении, что напряжение возникновения ЧР распределено по нормальному закону, вероятность разряда ниже установленного значения U_i определяется по формуле

$$P\{U_{pd} < U_i\} = \int_{-\infty}^{U_i} \varphi(U_{pd}) dU_{pd} \quad . \tag{4}$$

где $\varphi(U_{pd})$ – функция распределения величины U_{pd}.

При нормальном распределении величины U_{pd} в качестве границы предлагается установить величину $U_i=M(U_{pd})-2\sigma(U_{pd})$, т.к. вероятность возникновения ЧР при напряжении ниже данной величины не превышает 0,025.

Таким образом, под напряжением начала ионизации U_i предлагается понимать минимальное напряжение, при котором во включении каждую четверть периода возникают ЧР с вероятностью 0,025, то есть интенсивность потока ЧР составляет 5 ЧР/сек.

Данное значение на несколько порядков превосходит интенсивность потока коммутационных перенапряжений, что позволяет пренебречь погрешностью, связанной с регистрацией последних.

Применение на практике предложенного подхода позволит разработать эффективную методику диагностики состояния изоляции, основанную на применении относительно простых средств измерений и обладающей физически и математически обоснованной интерпретацией результатов измерений.

Список литературы

1. *Базуткин В.В.* Техника высоких напряжений: изоляция и перенапряжения в электрических системах /В.В. Базуткин, В.П. Ларионов, Ю.С. Пинталь. –М.: Энергоатомиздат, 1986. – 464 с.
2. *Вдовико В.П.* Частичные разряды в диагностировании высоковольтного оборудования /В.П. Вдовико. – Новосибирск: Наука, 2007. – 155 с.
3. ГОСТ 20074–83. Электрооборудование и электроустановки. Метод измерения характеристик частичных разрядов. М.: Издательство стандартов, 1983. – 22 с.
4. *Джуварлы Ч.М.* Электрический разряд в газовых включениях высоковольтной изоляции /Ч.М. Джуварлы, Г.В. Вечхайзер, П.В. Леонов. – Баку: Элм, 1983. – 193 с.
5. *Долгинов А.И.* Техника высоких напряжений в электроэнергетике /А.И. Долгинов. – М.: Энергия, 1968. – 464 с.
6. *Кучинский Г.С.* Частичные разряды в высоковольтных конструкциях /Г.С. Кучинский. – Л.: Энергия, 1979. – 224 с.
7. *Сви П.М.* Методы и средства диагностики оборудования высокого напряжения / П.М. Сви. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 239 с.
8. *Смотрин К.А.* Об использовании ненормируемых параметров частичных разрядов для оценки состояния изоляции высоковольтного электрооборудования //Научно-технический вестник Поволжья. – 2012. – №6. – с.390-393.
9. *Шваб А.* Измерения на высоком напряжении: измерительные приборы и способы измерения / А. Шваб. – М.: Энергоиздат, 1983. – 164 с.

05.13.18

И.С. Стародубцев

Уральский федеральный университет им. Б.Н. Ельцина,
институт математики и компьютерных наук, кафедра информатики и процессов управления,
Екатеринбург, StarodubtsevIS@ya.ru

ИНИЦИАЛИЗИРУЕМЫЙ ЗАХВАТ ДВИЖЕНИЯ И СЛЕЖЕНИЕ НА ОСНОВЕ КАРТ ГЛУБИН ДЛЯ ЖЕСТОВОГО ИНТЕРФЕЙСА

В статье представлен метод захвата движения и трекинга точки интереса на основе карт глубин с помощью инициирующих жестов. Описанный метод является частью комплексного жестового интерфейса.

Ключевые слова: *карта глубин, жестовый интерфейс, движение, трекинг*.

Введение

Описанный ниже метод является одним из основных методов захвата движения для комплексного жестового интерфейса. В основе данного метода лежит идея «инициализации» точки интереса с помощью специального жеста.

Предполагается, что в видимой сцене присутствует оператор, находящийся ближе к датчику, чем видимый фон. Так же предполагается, что сцена не подвержена значительным резким изменениям.

Метод построен на анализе последовательности кадров, содержащих карты глубин сцены. Карту глубин будем представлять, как функцию вида

$$0 < f_t(x, y) \leq \infty, \quad (1)$$

где $f_t(x,y)$ – значение глубины сцены в точке, соответствующей точке (x,y) кадра; t – временная отметка кадра; x, y – пространственные координаты в системе координат кадра. Если для некоторой точки (x_0,y_0) по каким-либо причинам нет возможности вычислить глубину, то полагаем $f_t(x_0, y_0) = \infty$.

Данные такого типа возможно получать с различных датчиков, например со сканирующих лазерных дальномеров или с устройств на основе PSDK (Asus XTion, MS Kinect).

Разработкой подобных алгоритмов захвата движения занимается большое количество как индивидуальных, так и корпоративных разработчиков. В качестве примера привести проекты MS Kinect SDK и OpenNI+NITE, также использующие карты глубин для захвата движения и слежения. Однако большинство подобных разработок не могут быть верифицированы, из-за отсутствия оценок точности, сложности и быстродействия или ограниченного доступа к ним. Другой проблемой такого рода разработок является, как правило, жёсткие ограничения на условия использования или привязка к определённым типам датчиков.

Инициируемый метод слежения

Метод состоит из последовательного выполнения этапов начальной инициализации точки интереса и последующего трекинга этой точки.

Детектор движения

На этапе инициализации производится первоначальный выбор точки интереса. В основе лежит идея инициализации пользователем слежения за определённым объектом с помощью ключевого жеста. В качестве таких ключевых жестов используются три: «горизонтальная волна», «вертикальная волна» и «нажатие».

Для распознавания ключевых жестов необходимо выделить движение в последовательности кадров, выделить движущийся объект и начать слежение за ним.

Один из простейших подходов к обнаружению изменений в последовательности кадров, произошедших между кадрами $f_{t_i}(x, y)$ и $f_{t_j}(x, y)$, полученными в моменты t_i и t_j состоит в

поэлементном сравнении этих кадров. Однако метод простого вычитания

$$diff\left[f_{t_i}, f_{t_j}\right](x,y) = \begin{cases} 1, & \left|f_{t_i}(x,y) - f_{t_j}(x,y)\right| > T_{diff} \\ 0, & \left|f_{t_i}(x,y) - f_{t_j}(x,y)\right| \le T_{diff} \end{cases} \quad (2)$$

даёт неудовлетворительные результаты, отчасти из-за шума, отчасти из-за, как ни странно, оператора, мелкие движения которого могут быть ошибочно интерпретированы как жест.

Для борьбы с этими проблемами были выбраны «повторные» жесты, которые легко воспроизвести, но относительно сложно сделать это случайно. Для регистрации этих жестов используются *накопительные разностные буферы* [1, 2]. Идея состоит в том, чтобы игнорировать изменения, встречающиеся однократно и изредка — т.к. скорее всего такие изменения являются шумом или «случайными» движениями оператора [3,4].

Рассмотрим последовательность кадров $\{f_{t_i}\}_{i=1}^{n}$. Обозначим для простоты записи $f_{t_i} = f(x,y,i)$. Пусть $R(x,y) = f(x,y,n)$. Тогда для любого *k>1* значения элементов буфера в каждой точке *(x,y)* определяются следующим образом

$$\begin{aligned} A_k &= \begin{cases} A_{k-1}(x,y) + 1 & |R(x,y) - f(x,y,n-k)| > T_{buf}, \\ A_{k-1}(x,y) & |R(x,y) - f(x,y,n-k)| \le T_{buf}, \end{cases} \\ P_k &= \begin{cases} P_{k-1}(x,y) + 1 & \big(R(x,y) - f(x,y,n-k)\big) > T_{buf}, \\ P_{k-1}(x,y) & \big(R(x,y) - f(x,y,n-k)\big) \le T_{buf}, \end{cases} \\ N_k &= \begin{cases} N_{k-1}(x,y) + 1 & \big(R(x,y) - f(x,y,n-k)\big) < -T_{buf}, \\ N_{k-1}(x,y) & \big(R(x,y) - f(x,y,n-k)\big) \ge -T_{buf}, \end{cases} \end{aligned} \quad (3)$$

где A_k, P_k и N_k – абсолютный, позитивный и негативный накопительные разностные буферы, соответственно, $A_1 \equiv 0$, $P_1 \equiv 0$, $N_1 \equiv 0$; $T_{buf}(x,y) = const$ – пороговая функция [5].

Поскольку инициирующий жест является повторяющимся и сцена не подвержена значительным изменениям во время съёмки, присутствуют большие значения буферов в области жеста на фоне незначительных значений в остальной области кадра.

Также для дальнейшего анализа нам понадобится выделить сам объект интереса в области, где происходило движение. Мы можем сделать это, используя предположение, что объект интереса находится в сцене ближе к датчику, нежели объекты фона. Для этого проведём сегментацию множества точек $A^{\delta} = \{(x,y): A_k(x,y) > \delta\}$, где $\delta \ge 0$ с помощью пороговой обработки по глубине с порогом *T(x,y)*. Значение пороговой функции *T(x,y)* может быть выбрано из различных соображений [6, 7, 8, 9].

После сегментации получены две группы точек:

$$\begin{aligned} G_1 &= \left\{(x,y): (x,y) \in A^{\delta}, f_t(x,y) \ge T(x,y)\right\}, \\ G_2 &= \left\{(x,y): (x,y) \in A^{\delta}, f_t(x,y) < T(x,y)\right\}. \end{aligned} \quad (4)$$

Группа G_1 будет соответствовать точкам фона, а группа G_2 будет соответствовать точкам объекта интереса.

Итак, пусть I_t — искомая точка интереса. Обозначим её координаты (x_I, y_I). Тогда они могут быть вычислены с использованием следующих формул:

$$\begin{aligned} x_I &= a\frac{\sum_x \sum_y P_k(x,y) S_P(x,y) x}{\sum_x \sum_y P_k(x,y) S_P(x,y)} + (1-a)\frac{\sum_x \sum_y N_k(x,y) S_N(x,y) x}{\sum_x \sum_y N_k(x,y) S_N(x,y)}, \\ y_I &= a\frac{\sum_x \sum_y P_k(x,y) S_P(x,y) y}{\sum_x \sum_y P_k(x,y) S_P(x,y)} + (1-a)\frac{\sum_x \sum_y N_k(x,y) S_N(x,y) y}{\sum_x \sum_y N_k(x,y) S_N(x,y)}, \end{aligned} \quad (5)$$

где $a \in [0,1]$ — параметр, отвечающий за вес опорного кадра; суммирование ведётся по пространственным координатам области кадра; S_P, S_N — весовые функции, позволяющие более тонко манипулировать областью и параметрами поиска движения. В частности, с их помощью можно задавать маски областей, в которых движение рассматриваться не будет. Имеет смысл при построении использовать множества G_1 и G_2, увеличивая вес точек,

соответствующих объекту интереса и уменьшая вес точек, соответствующих фону.

Таким образом, в целом процедура инициализации точки интереса при инициируемом подходе выглядит следующим образом:

При поступлении нового t-го кадра $f_t(x,y)$, предполагаем, что в этом кадре завершается жест инициализации, производимый в течении n кадров. В качестве опорного кадра выбирается текущий кадр, $R(x,y) = f_t(x,y)$. Далее по n кадрам пересчитываются накопительные разностные буферы A, N и P, и производится попытка инициализации точки интереса по формулам (3) и если полученная точка I с координатами (x_I, y_I) удовлетворяет условию

$$(x_I, y_I) \in G_2, \tag{6}$$

то за точкой начинается слежение. В противном случае инициализация считается не успешной и ожидается следующий кадр.

Трекинг

После успешной инициализации точки интереса её координаты передаются модулю слежения, в задачи которого входит сопровождение точки в кадре, обработка ситуации с потерей, кратковременной и долговременной и предоставление данных о наличии и статусе точки интереса (*tracked/untraced*) и трёхмерные координаты $\left(x, y, f_t(x,y)\right)$, в случае *tracked.*

Для описания алгоритма слежения за точкой используем определение *пространственной окрестности точки* $\left(x_{0,}y_0\right)$:

$$O_r\left(x_{0,}y_0\right) = \left\{(x,y): dist\left[\left(x,y,f(x,y)\right),\left(x_{0,}y_{0,}f\left(x_{0,}y_0\right)\right)\right] \le r\right\}, \tag{7}$$

где в качестве функции расстояния $dist\left[\left(x_{1,}y_{1,}z_1\right),\left(x_{2,}y_{2,}z_2\right)\right]$ можно выбрать различные метрики, например, метрику L_∞[10], т.к. она требует меньше вычислительных ресурсов.

Для слежения используется абсолютный накопительный разностный буфер (3), полученный по двум кадрам: текущему $f_t(x,y)$ и предыдущему $f_{t-1}(x,y)$.

Для удобства записи, обозначим точку интереса на кадре $f_t(x,y)$ как (x_I^t, y_I^t). Итак для нахождения точки интереса (x_I^t, y_I^t) на текущем кадре в предположении, что известна (x_I^{t-1}, y_I^{t-1}), необходимо определить область поиска. Для этого проведём количественную оценку движения в r окрестности точки (x_I^{t-1}, y_I^{t-1}) и вычислим

$$\begin{aligned} x_m &= \frac{\sum_{(x,y)\in O_r(x_I^{t-1},y_I^{t-1})} A_2\,(x,y)x}{\sum_{(x,y)\in O_r(x_I^{t-1},y_I^{t-1})} A_2\,(x,y)}, \\ y_m &= \frac{\sum_{(x,y)\in O_r(x_I^{t-1},y_I^{t-1})} A_2\,(x,y)y}{\sum_{(x,y)\in O_r(x_I^{t-1},y_I^{t-1})} A_2\,(x,y)}. \end{aligned} \tag{8}$$

Уточнение центра региона поиска с учётом истории:

$$\begin{aligned} x_c &= \alpha x_m + (1-\alpha)x_I^{t-1}, \\ y_c &= \alpha y_m + (1-\alpha)y_I^{t-1}. \end{aligned} \tag{9}$$

Произвольно изменяя параметры $\alpha \in [0,1]$, $r \in (0,\infty]$ можно регулировать влияние движения на поиск точки.

Далее происходит поиск нового положения точки интереса в $\rho \in (0,r]$ окрестности точки (x_c, y_c). Пусть $M = \max\limits_{(x,y)\in O_\rho(x_c,y_c)}\{f(x,y)\}$.Тогда

$$\begin{aligned} x_I^t &= \frac{\sum_{(x,y)\in O_\rho(x_c,y_c)} S_\rho\,(x,y)\left(M - f(x,y)\right)x}{\sum_{(x,y)\in O_\rho(x_c,y_c)} S_\rho\,(x,y)\left(M - f(x,y)\right)}. \\ y_I^t &= \frac{\sum_{(x,y)\in O_\rho(x_c,y_c)} S_\rho\,(x,y)\left(M - f(x,y)\right)y}{\sum_{(x,y)\in O_\rho(x_c,y_c)} S_\rho\,(x,y)\left(M - f(x,y)\right)}, \end{aligned} \tag{10}$$

где $S_\rho(x,y)$ - весовая функция.

Если выполнено $(x_I^t, y_I^t) \in G_2$, то полученные координаты будут новыми координатами

точки интереса в кадре $f_t(x, y)$, иначе считается, что точка потеряна.

Заключение

Приведённый выше алгоритм имеет оценку по сложности и по объёму потребляемой памяти порядка *O(N)*, где N — количество точек в кадре, что позволяет использовать его в приложениях реального времени и быстрого отклика.

Реализация метода используется в прототипе жестового интерфейса для медицинских задач [11], и имеет положительные оценки от специалистов.

Список литературы

1. *Chris Stauffer, W. Eric L. Grimson* Learning Patterns of Activity Using Real-Time Tracking // IEEE TRANSACTIONS ON PATTERN ANALYSIS AND MACHINE INTELLIGENCE, 2000. P. 747-757
2. *Omar Javed, Khurram Shafique, Mubarak Shah* A Hierarchical Approach to Robust Background Subtraction using Color and Gradient Information // Proceedings of the Workshop on Motion and Video Computing, IEEE Computer Society Washington, DC, USA, 2002. P. 22
3. *Dirk Focken, R. Stiefelhagen* Towards Vision-based 3-D People Tracking in a Smart Room // ICMI '02 Proceedings of the 4th IEEE International Conference on Multimodal Interfaces, IEEE Computer Society Washington, DC, USA 2002. P. 400
4. *Alexandre R.J. Francois and Re R. J. François and Gerard G. Medioni* A Modular Software Architecture for Real-Time Video Processing // In IEEE International Workshop on Computer Vision Systems, Springer, 2001. P. 35-49.
5. *Гонсалес Р., Вудс Р*. Цифровая обработка изображений. — М.: Техносфера, 2005, 2006. - 1072 с.
6. *Потапов А.А., Пахомов А.А., Никитин С.А., Гуляев Ю.В*. Новейшие методы обработки изображений. — М.: Физматлит, 2008.
7. *Степаненко О.С.*, Сканеры и сканирование. Краткое руководство. — М.: Диалектика, 2005.
8. *Иванов Д.В., Хропов А.А., Кузьмин Е.П., Карпов А.С., Лемпицкий В.С.* Алгоритмические основы растровой графики, 2007. Учебное пособие.
9. *Дьяконов В.П.* MATLAB 6.5 SP1/7/7 SP1/ Работа с изображениями и видеопотоками. — М.: СОЛОН-Пресс, 2010.
10. *Колмогоров А.Н., Фомин С.В.* Элементы теории функций и функционального анализа. — изд. четвёртое, переработанное. — М.: Наука, 1976. — 544 с.
11. Averbukh V., Starodubtsev I., Tobolin D., The Gesture Interface For Control Of Angiographic Systems // Современные компьютерные и информационные технологии: сборник трудов международной научной Российско-Корейской конференции. Екатеринбург: УрФУ, 2012, с.97 – 107.

05.23.05

М.В. Таланова, А.П. Пустовгар, С.А. Пашкевич

Московский государственный строительный университет,
Институт гидротехнического и энергетического строительства,
кафедра строительства ядерных установок,
Москва, neirosoftmasha@mail.ru

ВЛИЯНИЕ БАЗАЛЬТОВОГО ФИБРОВОЛОКНА НА ОСНОВНЫЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕЛКОЗЕРНИСТОГО БЕТОНА

В работе рассмотрено влияние коэффициента дисперсного армирования базальтовым фиброволокном мелкозернистых бетонов. Показано изменение основных физико-механические характеристик при различном коэффициенте армирования и цементно-песчаном отношении.

Ключевые слова: *дисперсное армирование, базальтовое фиброволокно, мелкозернистый бетон.*

Повышение требований к безопасности зданий и сооружений привело к необходимости повышения физико-механических и эксплуатационных характеристик бетонов. Одним из возможных технологических приемов решения поставленной задачи является дисперсное армирование фиброволокном [1].

На сегодняшний день достаточно изучены бетоны, дисперсно-армированные стеклянными, стальными и целлюлозными фиброволокнами [7, 4]. В меньшей степени изучены бетоны, дисперсно армированные базальтовыми и углеродными фиброволокнами [6].

Стоит отметить, что применение базальтового фиброволокна для дисперсного армирования бетонов является весьма перспективным, так как оно совмещает в себе высокие технологические показатели базальта главным, из которых является механическая прочность, и высокую адгезию с цементной матрицей [2, 5]. Таким образом, дисперсное армирование базальтовым фиброволокном бетонной смеси обеспечивает трехмерное упрочнение, повышая стойкость бетона к изгибающим нагрузкам и тем самым, создавая необходимый запас прочности, способствующий сохранению целостности конструкции при заданной эксплуатационной нагрузке.

В данной работе было исследовано влияние коэффициента дисперсного армирования бетонной смеси базальтовым фиброволокном на изменения основных физико-механических свойств мелкозернистых бетонов при различном цементно-песчаном (Ц/П) отношении.

Для приготовления составов бетонных смесей применялись:

– в качестве вяжущего вещества использовался портландцемент марки ПЦ 400 производства ОАО «Вольскцемент» Вольский цементный завод. Минералогический состав портландцемента марки ПЦ 400 представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Минералогический состав портландцемента марки ПЦ 400

Образец цемента	Фазы клинкера				Гипс			CaO	MgO	K_2SO_4	$CaCO_3$
	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF	$CaSO4\times2H_2O$	$CaSO4\times0.5H_2O$	$CaSO_4$				
Вольск 400	62.0	13.7	4.6	14.9	2.0	1.5	0.4	0.0	0.2	0.2	0.5

– в качестве заполнителя применялся кварцевый песок по ГОСТ 8735-88*. Модуль крупности песка $M_k = 2{,}55$.

– для дисперсного армирования бетонных смесей использовалось тонкое базальтовое волокно производства ОАО «Ивотстекло» Украинского месторождения (ТУ 5952-036-05328981-2005). Химические характеристики указаны в таблице 2. Технические параметры представлены в таблице 3.

Таблица 2 – Химические характеристики

SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	P_2O_3
53,9	18,88	9,88	8,30	2,58	3,13	1,98	0,89

Таблица 3 – Технические параметры

1. Цвет	бронзовый;
2. Плотность,	2,8 г/см^3;
3. Диаметр отрезка,	11–13 мкм;
4. Длина отрезка,	11–13 мм;
5. Прочность на разрыв	1500–2000 МПа;
6. Коэффициент растяжения	4,5–8 %;
7. Температура эксплуатации	от -260 ^{o}C до +700 ^{o}C;
8. Температура плавления	1450 ^{o}C;
9. Температура кратковременной экстремальной эксплуатации	900 ^{o}C;
10. Модуль упругости	9100–11000 кг/мм^2.

Экспериментальные составы бетонных смесей приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Состав экспериментальных образцов

№ экспериментального состава	**Ц/П**	**В/Ц**	**Коэф. армирования μ_v, %**
1*	1:1	0.55	-
2*	1:2		
3*	1:3		
4	1:1	0.55	0.5
5	1:2		
6	1:3		
7	1:1	0.55	1.5
8	1:2		
9	1:3		
10	1:1	0.55	2.5
11	1:2		
12	1:3		

* – контрольные образцы без содержания базальтового фиброволокна.

Испытание образцов проводились в проектном возрасте в соответствие с требованиями [3].

Результаты испытаний представлены на рисунках 1, 2, 3.

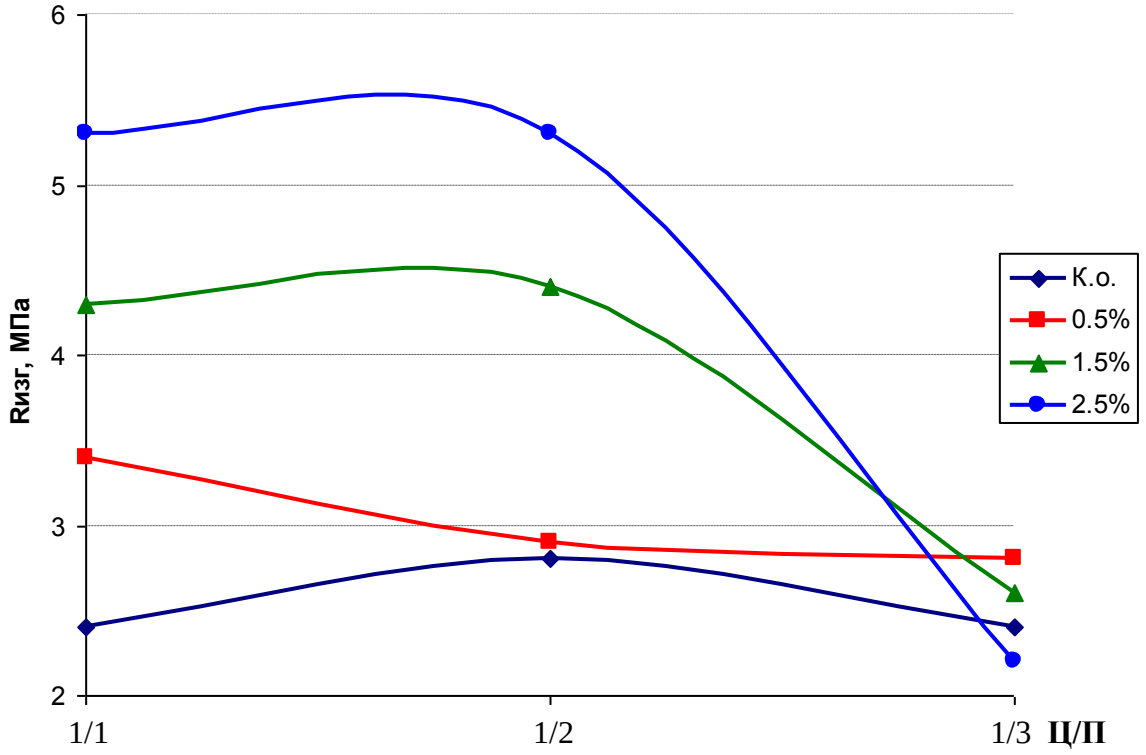


Рис. 1 – Прочность экспериментальных составов при изгибе

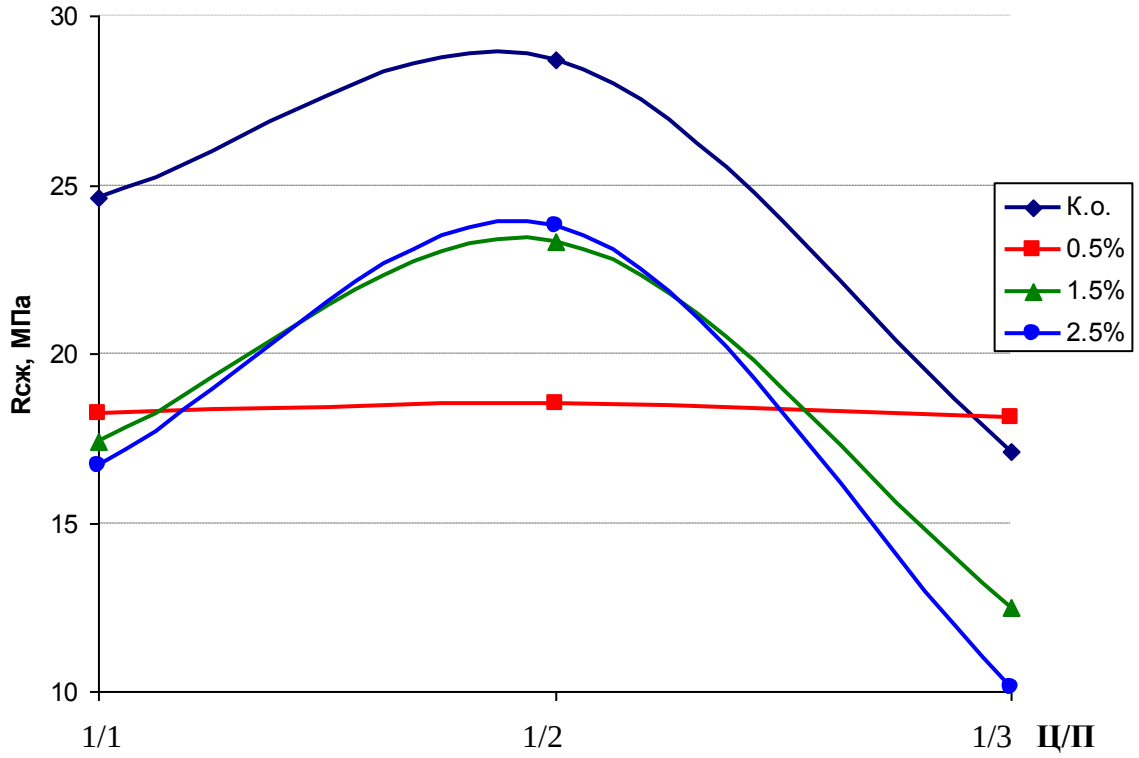


Рис. 2 – Прочность экспериментальных составов при сжатии.

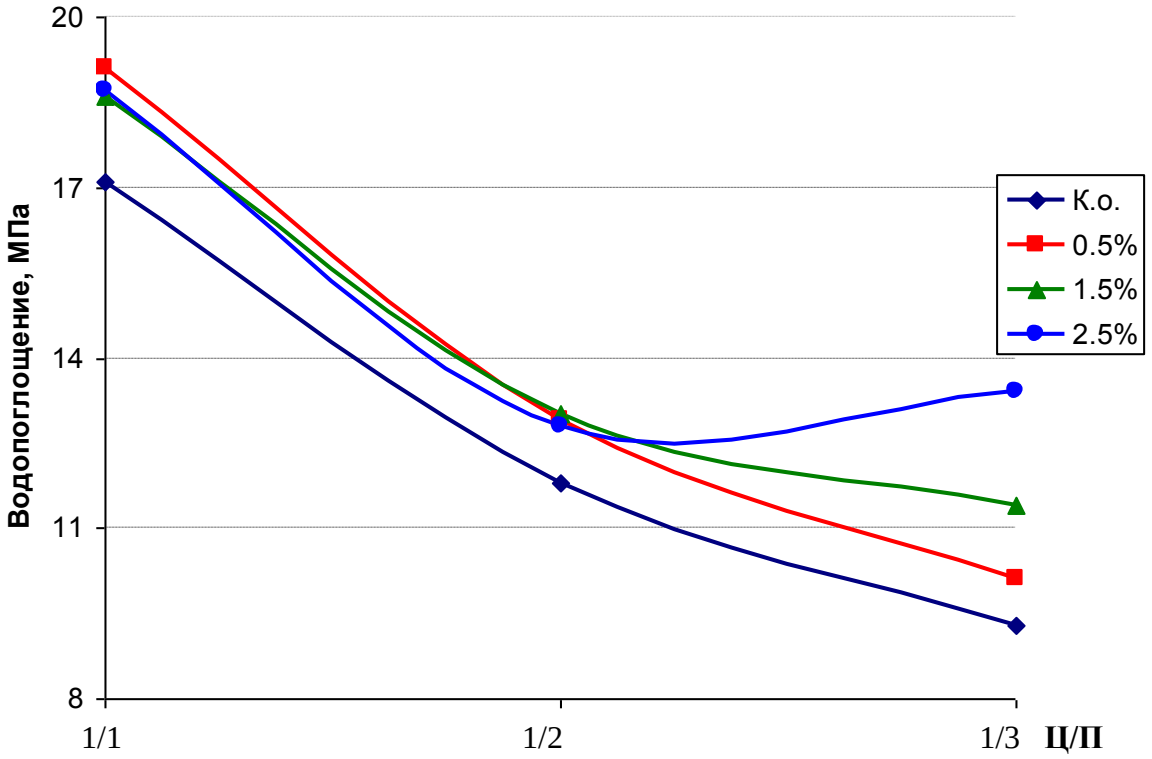


Рис. 3 – Водопоглощение экспериментальных составов

По результатам проведенных исследований установлено что, при увеличении процентного содержания базальтового фиброволокна в качестве дисперсного армирования относительно контрольных образцов происходит ожидаемый рост прочности при изгибе (см. рис. 1), прочность при сжатии снижается, но незначительно (см. рис. 2) и водопоглощение незначительно увеличивается (см. рис. 3).

Наибольший эффект от введения базальтового фиброволокна достигается при Ц/П = 1:2 с коэффициентом армирования по объему равным 2,5% и неизменным В/Ц = 0,55. При этом прочность при изгибе увеличивается на 89%, а прочность при сжатии уменьшается на 17% по сравнению с контрольными образцами.

Список литературы

1. *Пащенко А.А., Сербии В.П., Пославская А.П. и др.* Армирование неорганических вяжущих веществ минеральными волокнами. - М.: Стройиздат 1988.
2. *Боровских И.В.* Высокопрочный тонкозернистый базальтофибробетон - Автореферат дисс. канд. техн. наук. М, 2009.
3. ГОСТ 310.4-81 «Цементы. Методы определения придела прочности при изгибе и сжатие».
4. *Пащенко А.А., Сербии В.П.* Армирование цементного камня минеральным волокном.- Киев: УкрНИИНТИ, 1970.
5. *Пухаренко Ю.В.* Эффективные фиброармированные материалы и изделия для строительства и реставрации. В1 сб:: Материалы научно-практической конференции'(Санкт-Петербург, 6-7 декабря 2006 г.). № 2, СПб, 2006.
6. *Baston G.B.* State the - Art Report on Fiber Reinforced Concrete. // Reported by ACУ Committee 544. "ACY Journal". 1993.-70, №11.
7. GRC Architectural Components // Prospect the Glassfibre Reinforced Cement Association. Buchingham Row. - Wigan WN1, 1XL, UK./

05.23.01

И.А. Таскин

Уральский Государственный Университет Путей Сообщения,
строительный факультет,
кафедра «Строительных конструкций и строительного производства»,
Екатеринбург, vanotihon@mail.ru

ЖЕСТКОСТЬ ПОЛОГИХ КУПОЛОВ ИЗ КЛЕЕНОЙ АРМИРОВАННОЙ ДРЕВЕСИНЫ РАЗЛИЧНЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ

Рассмотрен подход к изучению жесткости пологих сетчатых куполов из клееной армированной древесины (численный эксперимент). Выявлена зависимость жесткости купола от нескольких факторов: наличия прогонов, конструкций основных ребер и настила, размера треугольных ячеек из треугольных элементов купола. Произведен анализ и сделаны выводы о влиянии перечисленных факторов на жесткость конструктивной системы купола. При проведении эксперимента использовался программный комплекс Лира 9.6 R6.

Ключевые слова: *пологие сетчатые купола, армированная древесина, жесткость куполов, настил, ребра, прогоны, численные методы.*

Пологие сетчатые купола из клееной армированной древесины, состоят из следующих компонентов: основные ребра, второстепенные ребра (прогоны) и жесткий настил. Такие купола имеют «дискретную структуру». Их дискретность заключена в двух особенностях. Первая заключается в том, что поверхность купола составлена из сети треугольных ячеек (см. рис.1,2,3). Вторая – в невозможности современных программных комплексов (ПК) создать сферическую поверхность (при моделировании жесткого настила как сферы посредством ПК Лира 9.6 R6, не обойтись без плоских треугольных конечных элементов, например КЭ46). Отсюда следует, что чем меньше размеры треугольных ячеек и чем больше частота разбивки оболочки на треугольные КЭ оболочки, тем больше работа купола становится похожей на работу идеальной оболочки. В данной статье предлагается рассмотреть, каким образом количество и размер треугольных ячеек, наличие или отсутствие прогонов и главных ребер, а также наличие или отсутствие настила, влияет на его пространственную жесткость.

Проведем численный эксперимент. Цель эксперимента – количественно определить влияние компонентов купола (факторов) на его жесткость. Построим модель пологого сетчатого купола с характеристиками, показанными ниже на рисунках 1,2,3 и в таблицах 1, 2, 3.

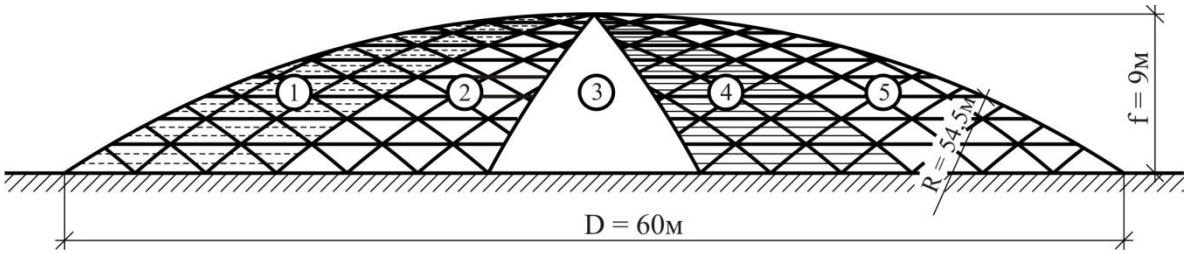


Рис. 1. Пологий сетчатый купол, состоящий из следующих элементов:
1 – основных ребер, прогонов, настила; 2 – основных ребер, настила; 3 – настила;
4 – основных ребер, прогонов; 5 – основных ребер.

Таблица 1. Рассматриваемые схемы пологих куполов

Номер схемы	Основные ребра	Прогоны	Настил
1	+	+	+
2	+	-	+
3	-	-	+
4	+	+	-
5	+	-	-

В таблице 1 знак «+» показывает наличие элемента, знак «-» – отсутствие элемента в расчетной схеме.

Таблица 2. Характеристики элементов схем

Элемент конструкции	Размеры сечений	Материал конструкции
Основное ребро	bxh=15x36см As=10,18см^2	Ребро – сосна Арматура – 4x18AIII
Прогон	bxh=10x30см As=6,16см^2	Прогон – сосна Арматура – 4x14AIII
Настил	δ=4см	Бакелизированная фанера

Таблица 3. Характеристики материалов конструкции

Материал	Характеристики	Значение
Сосна	Сопротивление сжатию, изгибу	$R_{с,и}$ = 16 МПа;
	Сопротивление растяжению	$R_р$ = 12 МПа
	Сопротивление скалыванию	$R_{ск}$ = 1,8 Мпа
	Модуль упругости	E = 10000МПа
	Коэффициент Пуассона	ν=0,5
Арматура	Сопротивление сжатию, растяжению, изгибу	$R_{с,р,и}$ = 230 МПа;
	Модуль упругости	E = 206000МПа
	Коэффициент Пуассона	ν=0,3
Фанера	Сопротивление сжатию	$R_с$ = 28 МПа;
	Сопротивление растяжению	$R_р$ = 32 МПа
	Сопротивление изгибу	$R_и$ = 33 МПа
	Сопротивление скалыванию	$R_{ск}$ = 1,8 Мпа
	Модуль упругости	E = 12000МПа
	Коэффициент Пуассона	ν=0,085

Натурная модель пологого сетчатого купола изготовлена из тех же материалов, что и реальные деревянные конструкции: основные ребра и прогоны выполнены из клееной древесины (сосны 1 сорта) и армированы металлическими стержнями (рис. 5). Процент армирования μ=2%. Настил представлен листами из бакелизированной фанеры толщиной h=2x2=4см. Модуль упругости, коэффициент Пуассона и другие характеристики материалов приведены в табл.2,3. Узлы соединения основных ребер (см. рис.4), прогонов и ребер, настила и стержневых элементов являются жесткими. Узлы сопряжения конструкций с

опорным контуром также являются жесткими, неподвижными (см. рис. 2, 3). Несущими элементами в схемах 1,2,4,5 является стержневой каркас из основных ребер, а в схеме 3 – оболочка, представленная настилом. Толщина настила во всех экспериментах остается постоянной.

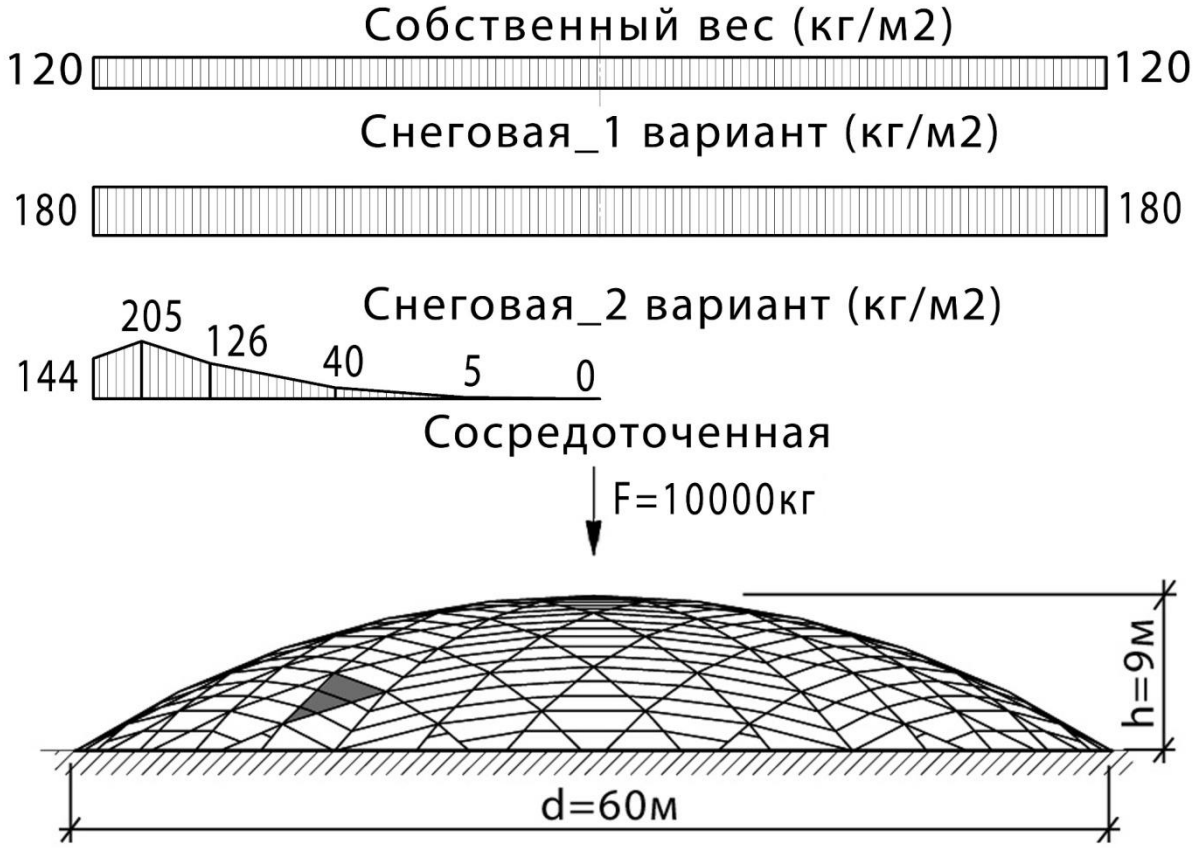


Рис. 2. Расчетная схема купола (вид сбоку)

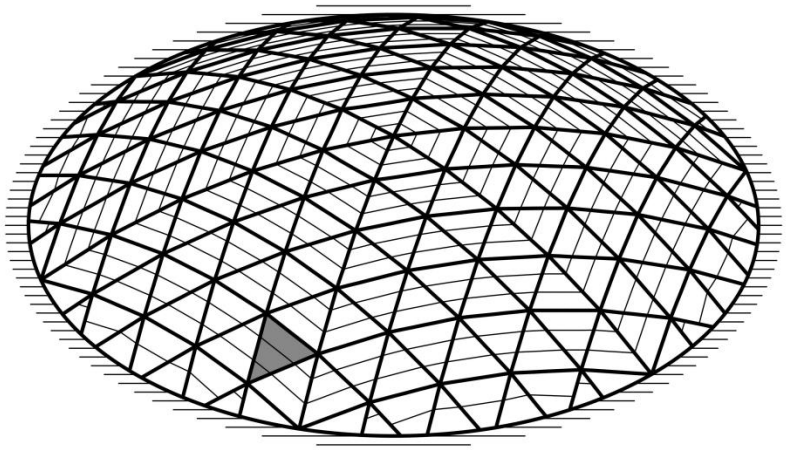


Рис. 3. Каркас купола с размером ячеек 6 метров (3D вид)

На рисунках 2, 3 изображены стержневые конструкции пологого сетчатого купола в виде основных ребер и прогонов. Размер ячеек 6м. Показаны геометрические размеры

конструкции, схема загружения и опирания элементов на опорное кольцо. Выделена треугольная ячейка – составная часть поверхности купола.

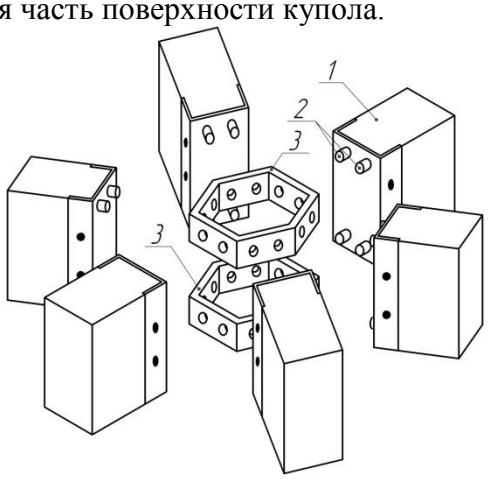


Рис. 4. Узел сопряжения основных ребер

На рисунке изображены: 1 – ребра, 2 – арматура, 3 – стальной сердечник. Ребра соединяются с сердечниками при помощи гаек, навинчиваемых на концы арматуры с резьбой.

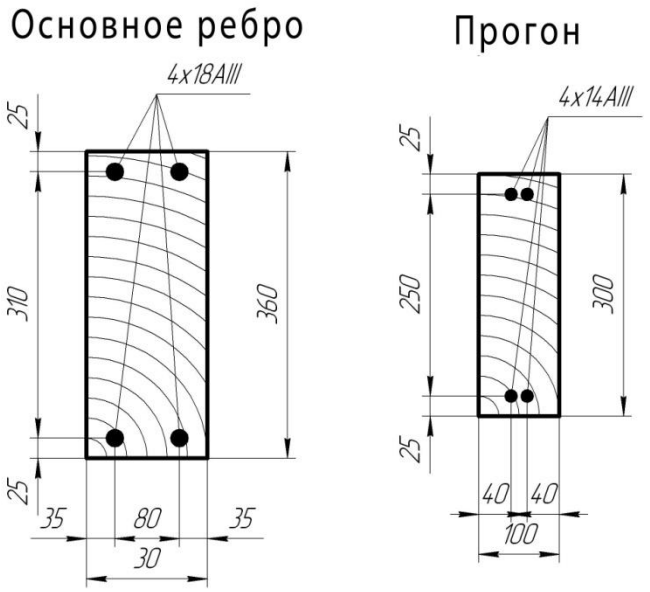


Рис. 5. Сечение и размеры основного ребра и прогона.

Конечно-элементная модель, выполненная на ПК Лира 9.6 R6, представлена следующими компонентами:

Стержни – КЭ 10 (универсальный пространственный стержневой КЭ);

Оболочка – КЭ 42 (универсальный треугольный КЭ оболочки с размером стороны ≈ 0,34м для всех вариантов).

Поверхности перечисленных моделей пологих сетчатых куполов представлены в виде пространственных многогранников с треугольными ячейками. Мы будем рассматривать размеры ячеек: 6м, 7,5м, 10м, 15м. Таким образом, исследованию подлежит 20 (5x4) различных моделей. На все модели будут приложены 4 вида нагрузок (см. рис. 2):

- постоянная – q=120 кг/м^2;
- снеговая_1 вариант для III снегового района – 180 кг/м^2;
- снеговая_2 вариант для III снегового района – см. рисунок;
- сосредоточенная от стационарного оборудования – F=10000кг.

Известно, что работа внешних сил отражает жесткостные характеристики конструкции. Например, для двух конструкций с одинаковыми расчетными схемами и нагрузками, но

разными сечениями элементов, более жесткой будет та конструкция, для которой работа внешних сил окажется наименьшей. Для сравнения жесткости куполов рассчитаем суммарную работу внешних сил для каждой схемы. Сравним полученные данные и отобразим в таблице. Работа внешних сил вычисляется по формуле:

$$A = \sum \frac{F_i \times \Delta_i}{2},$$

где Fi – сила, приходящаяся на узел i [Н];

Δi – перемещение соответствующего i-го узла [м].

Перемещения узлов вычисляем в ПК Лира 9.6 R6.

Таблица 4. Действительная работа внешних сил

	Работа внешних сил, Дж				
Нагрузки	**Схема 1**	**Схема 2**	**Схема 3**	**Схема 4**	**Схема 5**
	Стороны ячеек длиной 6 метров				
Собственный вес	3311	4540	7457	11356	13169
Снеговая 1 вариант	7355	10088	16565	27803	29600
Снеговая 2 вариант	530	756	1526	2072	2973
Сосредоточенная	395	464	1688	1092	1412
	Стороны ячеек длиной 7,5 метра				
Собственный вес	4058	6968	10123	14972	17207
Снеговая 1 вариант	9113	15646	22729	33628	38573
Снеговая 2 вариант	812	1520	3171	2771	6317
Сосредоточенная	405	478	1290	1162	1592
	Стороны ячеек длиной 10 метров				
Собственный вес	5322	14317	17107	24117	32313
Снеговая 1 вариант	11967	32200	38482	54206	72705
Снеговая 2 вариант	1043	2643	4541	4525	7868
Сосредоточенная	347	398	943	1168	1588
	Стороны ячеек длиной 15 метров				
Собственный вес	9123	70329	76072	52811	129301
Снеговая 1 вариант	20528	158239	171162	118825	290927
Снеговая 2 вариант	1423	9726	13412	10727	21895
Сосредоточенная	233	270	629	899	1231

В таблице 4 показано, как меняется величина действительной работы внешних сил в зависимости от конструктивных схем куполов. Купол со сторонами ячеек 6м, состоящий из армированных ребер, прогонов и настила является ранее просчитанным и подобранным автором [4].

Подведем итоги проделанной работы в виде таблицы 5.

Таблица 5. Сравнение жесткостей куполов

	Учет влияния размера ячеек					Учет влияния факторов				
Нагрузки	**Номер схемы**					**Номер схемы**				
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
	Стороны ячеек длиной 6 метров									
Собственный вес	***1.00***	***1.00***	***1.00***	***1.00***	***1.00***	***1.00***	1.37	2.25	3.43	3.98
Снеговая 1 вариант	***1.00***	***1.00***	***1.00***	***1.00***	***1.00***	***1.00***	1.37	2.25	3.78	4.02
Снеговая 2 вариант	***1.00***	***1.00***	***1.00***	***1.00***	***1.00***	***1.00***	1.43	2.88	3.91	5.61
Сосредоточенная	***1.00***	***1.00***	***1.00***	***1.00***	***1.00***	***1.00***	1.17	4.27	2.76	3.57
	Стороны ячеек длиной 7.5 метра									
Собственный вес	1.23	1.53	1.36	1.32	1.31	***1.00***	1.72	2.49	3.69	4.24
Снеговая 1 вариант	1.24	1.55	1.37	1.21	1.30	***1.00***	1.72	2.49	3.69	4.23
Снеговая 2 вариант	1.53	2.01	2.08	1.34	2.12	***1.00***	1.87	3.91	3.41	7.78
Сосредоточенная	1.03	1.03	0.76	1.06	1.13	***1.00***	1.18	3.19	2.87	3.93
	Стороны ячеек длиной 10 метров									
Собственный вес	1.61	3.15	2.29	2.12	2.45	***1.00***	2.69	3.21	4.53	6.07
Снеговая 1 вариант	1.63	3.19	2.32	1.95	2.46	***1.00***	2.69	3.22	4.53	6.08
Снеговая 2 вариант	1.97	3.50	2.98	2.18	2.65	***1.00***	2.53	4.35	4.34	7.54
Сосредоточенная	0.88	0.86	0.56	1.07	1.12	***1.00***	1.15	2.72	3.37	4.58
	Стороны ячеек длиной 15 метров									
Собственный вес	2.76	15.49	10.20	4.65	9.82	***1.00***	7.71	8.34	5.79	14.17
Снеговая 1 вариант	2.79	15.69	10.33	4.27	9.83	***1.00***	7.71	8.34	5.79	14.17
Снеговая 2 вариант	2.68	12.87	8.79	5.18	7.36	***1.00***	6.83	9.43	7.54	15.39
Сосредоточенная	0.59	0.58	0.37	0.82	0.87	***1.00***	1.16	2.70	3.86	5.28

В таблице 5 показаны коэффициенты, полученные путем деления действительной работы внешних сил i-ой конструкции на работу внешних сил исходного купола. Исходный купол взят определенным образом. При оценке влияния размеров ячеек исходными конструкциями являются купола с треугольной ячейкой с размером стороны 6м. При учете влияния составляющих факторов исходными схемами являются конструкции, выполненные из основных ребер, прогонов и настила. Из таблицы видно, что настил и прогоны повышают жесткостные свойства купола в 4…15 раз в сравнении со стержневыми конструкциями. Из таблицы также видно, что частота разбивки купола на треугольные ячейки тоже особым образом влияет на жесткость: в куполах с меньшими размерами ячеек жесткость выше (до 15 раз). Исключения составляют расчетные схемы с узловой нагрузкой, для которых справедлива обратная зависимость.

Оценим полученные результаты с другой стороны. Работа внешних сил для изгибаемых элементов будет выше, чем работа сил, центрально сжимающих (растягивающих) элементы. Этим объясняется повышенная жесткость куполов с большими размерами ячеек (при воздействии узловой нагрузки). С увеличением пролетов основных стержней, возрастает и работа внешних сил. А это значит, система становится менее жесткой. Чтобы увеличить жесткость, требуется подбирать более массивные сечения, что приводит к экономическим затратам. Поэтому учет настила и прогонов в работе купольной конструкции обоснован и с экономической точки зрения.

Список литературы

1. *Власов В.З.* Общая теория оболочек и ее приложения в технике. Гостехиздат, Москва, 1979, 784 с.
2. *Гольденвейзер А.Л.* Теория тонких упругих оболочек. Гостехиздат, Москва, 1976, 512 с.
3. *Лурье А.И.* Статика тонкостенных упругих оболочек. Гостехиздат, Москва, 1947, 252 с.
4. *Таскин И.А.* Исследование работы пологих сетчатых куполов из клееной древесины. Диссертация магистра / Таскин Иван Александрович. – Екатеринбург 2010, 132 с.

05.02.10

В.Н. Хмелёв д.т.н., А.Н. Сливин к.т.н., А.Д. Абрамов

Бийский технологический институт (филиал)
ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»,
кафедра методов и средств измерений и автоматизации,
Бийск, vnh@bti.secna.ru

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРИ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ СВАРКЕ

В работе получены значения энергии, выделяющейся в процессе прессовой и непрерывной ультразвуковой сварки в зависимости от физических свойств и толщины материалов. Это позволило повысить эффективность энергетического воздействия за счет установления оптимальных режимов воздействия и обеспечения необходимых диапазонов регулирования энергетических параметров сварочных аппаратов. Созданные сварочные аппараты обеспечили возможность решения технологических задач сварки разнообразных изделий.

Ключевые слова**:** *Ультразвуковая сварка, термопласты, технология, аппараты.*

Ультразвуковая (УЗ) сварка используется в различных отраслях промышленности, обеспечивая герметизацию упаковок с жидкими и сыпучими материалами, формируя надежное и качественное соединение при изготовлении изделий различной формы и назначений (см. рис.1.). Достоинства УЗ сварки [1] могут быть реализованы только при оптимальном энергетическом воздействии на соединяемые материалы или изделия. В процессе прессовой, или непрерывной сварки подведение энергии от УЗ колебательной системы к свариваемым поверхностям осуществляется за счет вертикального перемещения и прижима.

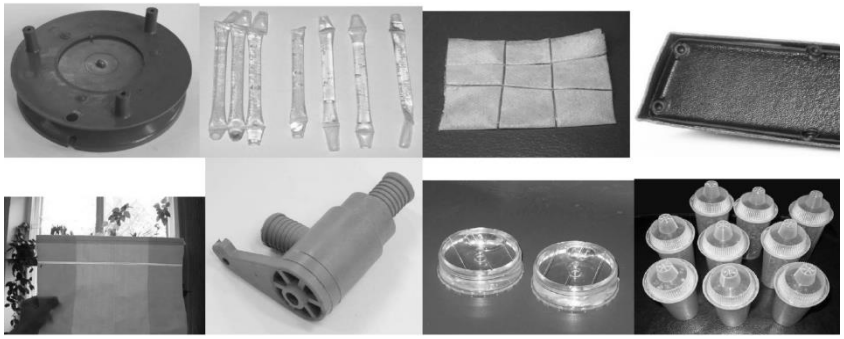


Рис. 1 – Изделия, изготовленные с применением УЗ сварки

Качество сварки различных изделий определяется возможностью обеспечения определенного энергетического ультразвукового воздействия, которое характеризуется частотой и амплитудой колебаний сварочного инструмента, а также временем воздействия (временем сварки или скоростью протяжки свариваемых материалов при непрерывной сварке).

Для повышения эффективности УЗ воздействия необходимо установить значения необходимого для сварки времени воздействия при изменяемых его значениях (частота и амплитуда) для различных по свойствам и толщине материалам, создать колебательные системы и сварочные инструменты для формирования необходимых швов и практически реализовать сварочные аппараты.

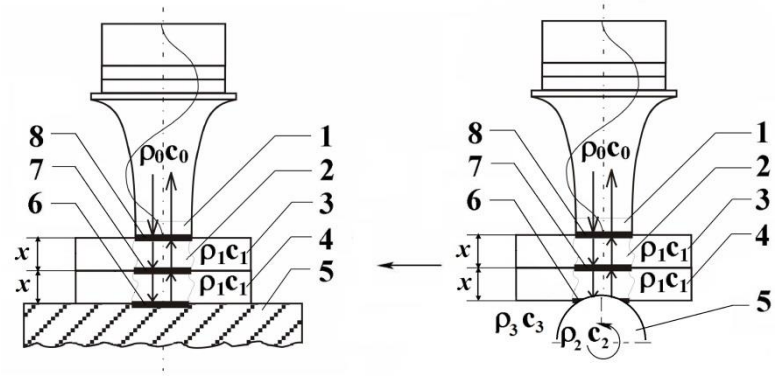
Эффективность энергетического воздействия при формировании различных по конфигурации швов (точечный, линейный, с замкнутым или прерывистым контуром,

кольцевой, прямоугольный, непрерывный и т.п.) определяется формой и размерами сварочных инструментов, а также формой и материалами вспомогательных элементов – опор, подложек, прижимных роликов с различными по форме поверхностями [2].

Для определения оптимального энергетического воздействия и необходимого диапазона его изменений для решения задач сварки различных изделий проведены исследования процесса ввода и распространения колебаний (схематично показано на рис. 2) при реализации прессовой и непрерывной сварки [2-4]. Установленная зависимость времени, необходимого для формирования сварного соединения от энергии ультразвуковых колебаний, выделяющейся в слоях различных по свойствам материалов имеет следующий вид:

$$t = \frac{\rho_1 V_1 \int_{T_н}^{T_{пп}} C dT + \lambda \rho_1 V_2 + Q_3}{2\pi^2 f^2 A_0^2 S \rho_0 c_0 (1-\eta_1)(1-e^{-4\alpha x} + \eta_2 e^{-4\alpha x} - \eta_2 e^{-8\alpha x})}, \quad (1)$$

где f – частота УЗ колебаний; A_0 – амплитуда колебаний; S – площадь рабочего инструмента; $\rho_0 c_0$ – акустический импеданс материала инструмента; $\rho_1 c_1$ – импеданс свариваемого материала; η_1, η_2, η_3 – коэффициенты отражения на границах сварочный инструмент–материал– опора–воздух; α – коэффициент затухания колебаний в материалах; x – толщина материала; C – теплоемкость материала; V_1 – объем зоны сварки; V_2 – объем расплавляемой зоны; λ – удельная теплота плавления материала; $T_н$ –температура начальная; $T_{пл}$ – температура плавления материала, Q_3 – потери энергии.



а) – схема прессовой сварки; б) – схема непрерывной сварки

Рис. 2 – Схемы ввода колебаний, где 1 – сварочный инструмент; 2 – зона сварки; 3,4 – свариваемые материалы; 5 – опора (ролик); 6,7,8 – границы раздела сред материалов, инструмента и опоры

На основании представленной зависимости времени сварки (1) были проведены расчёты необходимого времени сварки для кольцевых сварных швов различного диаметра и ширины [4], и установлены зависимости скорости протяжки материалов от свойств и толщины материалов при реализации непрерывной сварки на опоре в виде вращающегося ролика (см. рис.2б) различной ширины (2, 3).

Общий подход к определению времени сварки позволил установить, что при сварке тонких плёнок на фиксированной опоре существенное влияние на величину выделяемой энергии оказывает энергия трения (4-5) между слоями свариваемых материалов [4].

$$W = I_1(1 - e^{-2\alpha x} S - e^{-4\alpha x} S + \eta_2 e^{-4\alpha x} s - \\ - \eta_2 e^{-8\alpha x} s + \eta_3 e^{-4\alpha x}(S - s) - \eta_3 e^{-8\alpha x}(S - s)), \quad (2)$$

где s – ширина ролика (опоры), W – скорость диссипации УЗ энергии.

$$V_{пр} = \frac{W \cdot l}{\rho_1 V_1 \int_{T_н}^{T_{пп}} C dT + \lambda \rho_1 V_2 + Q_3} \quad (3)$$

$$W_{тр} = 8\mu\pi\rho_1 c S A^2 f^2 \quad (4)$$

$$V_{пр} = \frac{(W_{тр} + W) \cdot l}{\rho_1 V_1 \int_{T_{нн}}^{T_{пп}} C dT + \lambda \rho_1 V_2}, \qquad (5)$$

где $W_{тр}$ – энергия внешнего трения; l – длина мгновенной зоны сварки; μ – коэффициент трения; $V_{пр}$ – скорость протяжки материалов.

Определение величин энергетических воздействий при различных условиях реализации процесса сварки позволил установить диапазоны необходимой перестройки параметров УЗ сварочных аппаратов (по времени сварки, амплитуде и скорости протяжки материалов) и создать практические конструкции специализированных сварочных аппаратов, часть из которых показана на рис.3.

Рис. 3 – Сварочные аппараты для прессовой и непрерывной сварки

Выявленные возможности повышения эффективности энергетического воздействия позволили создать аппараты для прессовой сварки швов заклёпочного типа, линейной и кольцевой формы и для непрерывной сварки протяжённых швов. Так, для формирования линейных швов разработаны ультразвуковые аппараты серии «Гиминей–Ш» мощностью от 1 кВт до 3 кВт, формирующие в условиях автоматизированных упаковочных производств продольные и сдвоенные швы площадью от 250 мм^2 до 1800 мм^2 [5] за время менее 1 с.

Для формирования кольцевых швов диаметром от 15 мм до 100 мм и шириной до 10 мм разработаны аппараты серии «Гиминей-К» [5].

Повышение эффективности УЗ воздействия при сварке тонких пленок позволило создать аппараты, формирующие шов со скоростью до 3 м/с.

Таким образом, повышение эффективности энергетического воздействия при ультразвуковой сварке за счет выбора оптимальных режимов и условий сварки отдельных изделий и установления необходимых диапазонов перестройки параметров сварочных аппаратов при изменении свойств и толщины свариваемых материалов обеспечило дальнейшее развитие технологии УЗ сварки и создание специализированных аппаратов.

Список литературы

1. *Сливин, А.Н.* Развитие технологий и создание ультразвуковых аппаратов для сварки изделий из полимерных термопластичных материалов // В.Н. Хмелёв, А.Д. Абрамов // ТГУ. – 2009: Матер. всеросс. научно-техн. конф. «Проведение научных исследований в области машиностроения». – г. Тольятти, 27–28 ноября 2009 г. В 3–х ч. / под общ. Ред. М.М. Криштала. – Ч.1. – С. 35–41.
2. *Сливин, А.Н.* Создание ультразвуковых аппаратов с оптимизацией энергетического воздействия для повышения эффективности сварки: Дис. канд. техн. наук.: 05.03.06. – Защищена 25.12.08; Утв. 10.04.09; ДКН№082674. – М., 2008. – 180 стр.: ил. – Библиогр.: с. 162–178.
3. *Lehr, A.V.* Theoretical Investigations of Continuous Ultrasonic Seam Welding of Thermoplastic Polymers and Fabrics International Conference and Seminar on Micro // V.N. Khmelev, A.N. Slivin, A.D. Abramov // Nanotechnologies and Electron Devices. EDM'2010: Conference Proceedings. – Novosibirsk: NSTU, 2010. – P.341–344.
4. *Abramov, A.D.* Researches of Ultrasonic Welding of Polymer Ring-Shaped Materials International Conference and Seminar on Micro / V.N. Khmelev, A.N. Slivin, A.D. Abramov Nanotechnologies and Electron Devices. EDM'2010: Conference Proceedings. – Novosibirsk: NSTU, 2010. – P.345–349.
5. *Slivin, A.N.* Zariadenia na ultrazvukové zváranie s automatickou optimalizáciou ultrazvukového pôsobenia [Текст] / V.N. Chmelev, R.V. Barsukov, A.N. Slivin, S.N. Cyganok, A.D. Abramov // ZVÁRAČ. – Slovenká Republika, Bratislava, 2008. – Rocnik V/3. – Str.13–16.

05.17.08

В.Н. Хмелев, А.В. Шалунов, К.В. Шалунова, В.А. Нестеров, В.Е. Бажин

Бийский технологический институт (филиал)
ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»,
г. Бийск, shalunov@bti.secna.ru

СОЗДАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ УЛАВЛИВАНИЯ ВЫСОКОДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ ЦЕНТРОБЕЖНО-АКУСТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

В статье представлены результаты создания оборудования для улавливания дисперсных частиц размером менее 1 мкм. Особенностью разработанного оборудования является применение источников УЗ колебаний, обеспечивающих повышение эффективности работы оборудования до 99% при улавливании частиц размером менее 1 мкм.

Ключевые слова: *коагуляция, ультразвук, пылеулавливающее оборудование.*

Ежегодные многотонные выбросы промышленных газов, содержащих высокодисперсные частицы, наносят колоссальный ущерб качеству атмосферного воздуха. При этом существующие пылеулавливающие аппараты, являющиеся, по сути, вариантами аппаратурного оформления, использующего воздействия известных физических факторов, влияющих на задержание взвешенной фазы (сила тяжести, диффузия, инерционные силы, силы электростатического притяжения), не позволяют изменить сложившуюся ситуацию.

Значительное место в современной практике принадлежит пылеуловителям инерционного или центробежного типа, характеризующимся простотой в изготовлении и эксплуатации. Основным недостатком таких устройств является низкая эффективность улавливания частиц с размером менее 1 мкм из-за практически полного увлечения таких частиц газовым потоком.

Очевидным путем устранения указанного недостатка является предварительное укрупнение частиц дисперсной фазы. Наиболее эффективным способом такого укрупнения является акустическая коагуляция. Как известно из проведенных ранее исследований, для улавливания частиц размером менее 1 мкм необходимо использовать колебания ультразвукового (УЗ) диапазона частот [2]. При этом для воздействия колебаниями в вышеуказанном диапазоне с уровнем звукового давления не менее 140 дБ (достаточным для эффективной реализации процесса коагуляции) авторами были разработаны излучатели в виде изгибно-колеблющихся дисков [3].

Поскольку известно, что эффективность коагуляции дисперсных частиц прямо пропорциональна времени пребывания частиц в ультразвуковом поле, а степень улавливания дисперсных частиц центробежным пылеуловителем пропорциональна скорости вихревого движения этих частиц (т.е. фактически, обратно пропорциональна времени пребывания), то при разработке оборудования, основанного на совместном центробежно-акустическом воздействии целесообразнее использовать двухступенчатую конструктивную схему: агломератор и центробежный пылеуловитель. Каждая из составляющих оборудования выполняет определенную функцию: агломератор предназначен для предварительного укрупнения дисперсных частиц и расслоения газового потока; пылеуловитель предназначен для окончательного улавливания дисперсных частиц за счет совместного действия центробежных сил и УЗ воздействия. Трехмерная модель разработанного оборудования показана на рис. 1.

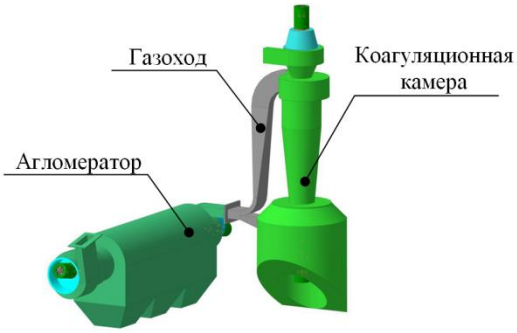
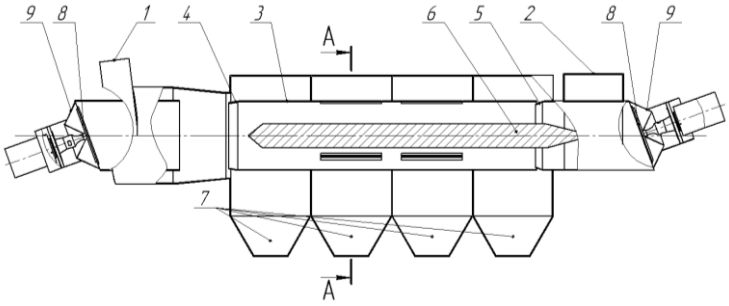


Рис. 1 – Модель пылеулавливающего оборудования

Конструкция первой ступени – агломератора представлена на рис 2. Агломератор выполнен в виде протяженной камеры 3 круглого сечения. Для отделения частиц (за счет действия центробежной силы) он снабжен закручивателем газового потока на входе 1 и раскручивателем на выходе газа 2. При поступлении газового потока во входном патрубке (закручивателе) происходит расслоение потока и дисперсных частиц, поэтому для отделения дисперсных частиц за входным патрубком размещен кольцевой диффузор 4. Диффузор выходного патрубка 5 предназначен для отделения агломератов частиц находящихся в периферийном (внешнем) слое в бункер 7.



1 – входной закручиватель потока; 2 – выходной патрубок (раскручиватель потока);
3 – камера сепарации агломератора; 4 – входной диффузор;
5 – диффузор выходного патрубка; 6 – обтекатель; 7 – бункеры;
8 – дисковые излучатели; 9 – отражатели

Рис. 2 – Эскиз разработанного агломератора

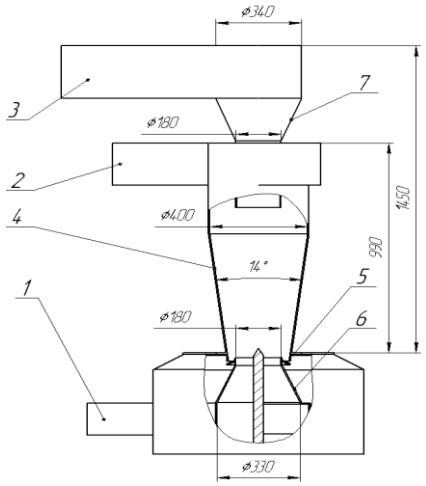
Для усиления закручивания газового потока и исключения уноса частиц, на всю длину камеры сепарации агломератора установлен профилированный обтекатель 6. Ультразвуковые излучатели 8 установлены на торцах камеры под углом в 30° к оси симметрии агломератора, что позволяет обеспечить резонансное усиление и наиболее равномерное распределение колебаний во всем объеме. Для повышения выхода акустической энергии с тыльной стороны излучателей установлены отражатели 9. Воздействие акустического поля приводит к коагуляции частиц дисперсных частиц и, как следствие, дальнейшему расслоению потока. Наиболее крупные коагулированные частицы под действием силы тяжести осаждаются в бункер 7, а газовый поток с небольшой концентрацией укрупненных частиц выходит через выходной патрубок 2.

С целью определения эффективности предложенной конструкции было проведено моделирование работы агломератора в системе ANSYS CFX. Эффективность агломератора определялась при следующих условиях: входная скорость газового потока 19 м/с; время пребывания дисперсных частиц в объеме агломератора 2 сек; частота УЗ колебаний – 22 кГц; уровень звукового давлении – 145 дБ. В результате было установлено, что эффективность разработанного агломератора составляет: при улавливании частицах диаметром 5 мкм – 99 %; частиц 1 мкм – 87 %;частиц 0,5 мкм – 53 % и частиц 0,2 мкм – 47 %. За время пребывания газового потока в агломераторе обеспечивается 6-кратное укрупнение дисперсных частиц.

При проектировании второй ступени пылеулавливающего оборудования был проведен анализ технических характеристик существующих пылеуловителей, который позволил

установить, что наибольшую эффективность при улавливании высокодисперсных частиц имеют пылеуловители со встречно-закрученными потоками (ВЗП) (эффективность очистки воздуха при δ_{50}=40мкм составляет 85–98%)[1]. Для увеличения эффективности работы аппарата ВЗП в его конструкцию были добавлены 2 ультразвуковых излучателя, создающих акустическое поле с уровнем звукового давления не менее 145 дБ. Эскиз разработанной конструкции пылеуловителя показан на рис. 3.

Пылеуловитель со встречно закрученными потоками работает следующим образом: первичный запылённый поток входит в нижнюю часть аппарата через патрубок 1, закручивается и в его цилиндрической или конической части 4 происходит разделение на высоко и низко-концентрированные потоки. Первый, вращается в периферийной зоне завихрителя, а второй, с пониженной концентрацией, в центральной части. За счет установки УЗ излучателей в верхнем 6 и нижнем 7 концентрирующих конусах оба потока попадают под воздействие УЗ колебаний, обеспечивающих коагуляцию частиц. Через тангенциально расположенный патрубок 2 в верхней части уловителя сверху вниз, вращаясь, движется вторичный запылённый поток. Этот поток перемещает частицы уловленной пыли в бункер под отбойную шайбу 5. Очищенный воздух по коаксиальному воздуховоду верхней части аппарата выносится из пылеуловителя 3. Вращение потоков внутри аппарата имеет одно направление.



1 – входной патрубок (завихритель);
2 – входной закручиватель вторичного запыленного потока;
3 – выходной патрубок;
4 – корпус коагуляционной камеры;
5 – отбойная шайба бункера;
6 – нижний концентрирующий конус с УЗ излучателем;
7 – верхний концентрирующий конус с УЗ излучателем

Рис. 3 – Конструкция центробежного пылеуловителя

Для определения эффективности улавливания дисперсных частиц в разработанной конструкции пылеуловителя было проведено моделирование его работы. Условия моделирования: время пребывания частиц в камере составляет 0,6 с; частота – 22 кГц; уровень звукового давлении – 145 дБ. Расчетная эффективность улавливания в циклоне со ВЗП с учетом УЗ воздействия для частиц размером 1 мкм составляет 99%; 0,5 мкм – 95 %; 0,2 мкм – 88 %.

В целом (при последовательном соединении агломератора и центробежного пылеуловителя) разработанная конструкция оборудования для улавливания высокодисперсных частиц за счет УЗ воздействия позволяет обеспечить степень улавливания частиц размером от 0,2 до 1 мкм 90–99 %.

Список литературы

1. Пылеулавливающие оборудование: Пылеуловитель ВЗП [Электронный ресурс]. – **ООО «Вентиляционные системы»**.– Режим доступа: http://www.cikloni.ru/item.php?uid=5

2. Хмелев В.Н., Шалунов А.В., Хмелев С.С., Цыганок С.Н., Лебедев А.Н., Галахов А.Н. Разработка пьезоэлектрических ультразвуковых колебательных систем для интенсификации процессов в газовых средах// Известия Тульского Государственного университета. Серия «Технические науки». – 2010. – Вып.1. – С. 148–153.

3. *Хмелев В.Н., Шалунов А.В., Шалунова К.В., Голых Р.Н.* Исследование акустической коагуляции аэрозоля, переносимого потоком воздуха// Ползуновский вестник. – 2011. – № 4/1. – С. 211–216.

05.13.01

[1]В.П. Хранилов, [2]Е.В. Тесленко, [3]В.В. Андреев

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева,
[1]кафедра «Компьютерные технологии в проектировании и производстве»,
[2]«Технология конструкционных материалов и метрология»,
[3]«Ядерные реакторы и энергетические установки»,
Нижний Новгород, vyach.andreev@mail.ru

ФОРМИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕМ В ПРОЕКТИРОВАНИИ ДЕТАЛЕЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ

В статье описывается и анализируется динамическая модель интерактивного управления конструкторско-технологическим взаимодействием, предлагаемая для применения при автоматизированном проектировании.

Ключевые слова: *автоматизированное проектирование, математическая модель, агрегат, конструктивно-технологические параметры деталей.*

Для успешного решения задачи управления конструкторско-технологическим взаимодействием систем «конструктор», «технолог», «метролог» при автоматизированном проектировании, важен выбор математической модели, используемой в качестве основы алгоритма принятия решения.

При моделировании процесса управления массивом конструкторско-технологических параметров в условиях наличия вариантов в качестве основы предлагается использовать теоретико-множественную модель детали как объекта проектирования [1-3]:

$$\{\mathbf{P}\} = \mathbf{\Phi}[\{\mathbf{X}\},\{\mathbf{Z}\},\{\mathbf{V}\}] \qquad (1)$$

Выражение (1) задает описание способа преобразования параметров детали, заданных совокупностью описаний множества ее поверхностей, с целью исследования модели на предмет выявления в ней возможностей введения элементов автоматического управления, способных реализовать в формализованном виде процедуры автоматизированного проектирования для САПР. При таком подходе проектируемую систему можно представить в виде агрегата [4, 5, 6]:

$$\sum = [\boldsymbol{T}, \{\mathbf{X}\}, \{\mathbf{Z}\},\{\mathbf{V}\},\{\mathbf{\Omega}\},\{\mathbf{Y}\},\{\mathbf{\Gamma}\}, \mathbf{H}, \mathbf{G}], \qquad (2)$$

где $\boldsymbol{T}$ – множество моментов времени, $\{\mathbf{X}\}$ – множество мгновенных значений входных воздействий, $\{\mathbf{Z}\}$ – множество технико-экономических требований, установленных техническим заданием, $\{\mathbf{V}\}$ – множество внешних факторов, $\{\mathbf{\Omega}\}$ – множество допустимых входных воздействий, $\{\mathbf{Y}\}$ – множество мгновенных значений выходных воздействий, $\{\mathbf{\Gamma}\}$ – множество допустимых выходных воздействий, $\mathbf{H}$ – оператор переходов, устанавливающий функциональную связь между переменными, $\mathbf{G}$ – оператор, устанавливающий связь между состоянием системы и ее выходной величиной, предопределяющей множество $\mathbf{\Gamma}$. Такая кибернетическая модель определяет проектируемую систему как «черный ящик», имеющий входы, выходы и внутреннюю конструкцию.

Наличие в модели множества моментов времени $\mathbf{T}$ при условии их дискретности позволяет использовать терминологию и математический аппарат теории конечных автоматов [6]. Введение дискретных отсчетов времени t_0, t_1, t_2, …, t_n не имеет цели отображения процессов функционирования проектируемой вычислительной системы во времени, а используется для фиксирования сложившихся в процессе целенаправленных интерактивных воздействий различных состояний системы. Далее отмеченные дискретные отсчеты времени целесообразно обозначить в виде целых неотрицательных чисел и называть тактами [6]. Множество дискретных состояний системы, представляющее множество

вариантов назначения массива параметров детали со своими фиксированными наборами значений параметров, обозначим как **S** = {s_0, s_1, s_2, …, s_n}. Наличие множества решений, вызванное вариациями массива параметров деталей в процессе проектирования, изменением вектора требований к конструкции {**Z**}, а также определяемое наличием управляющих воздействий со стороны лица, принимающего решения (ЛПР), определяет факторы неопределенности принятия проектных решений при проектировании детали.

Учитывая особенности конструкторско-технологических стадий создания проекта детали, необходимо заметить, что реализация этих этапов, как правило, предусматривает выбор параметров формирующих ее геометрических поверхностей. В этом случае исходная обобщенная математическая модель трансформируется.

Исходные множества {**U**}**,** {**Ω**} отображают не входные воздействия, а управляющие воздействия ЛПР, то есть {**U**} – множество мгновенных значений управляющих воздействий {**U**}= {**X**}∪{**Z**}, и {**Ω**} - допустимые значения векторов {**X**} и {**Z**}, то есть {**Ω**} = $\{\mathbf{X}\}_{доп.} \cup \{\mathbf{Z}\}_{доп.}$. Множество {**Γ**} представляется множеством ограничений на конструктивно-технологические параметры детали $\{\mathbf{P}\}_{доп.}$; {**Γ**} = $\{\mathbf{P}\}_{доп.}$. Множество {**Y**} в (2) представлено множеством {**P**} (1). Вводится {**S**} – множество состояний системы, интегрирующее мгновенные значения векторов {**U**} и {**V**}. Оператор **G**, устанавливающий связь между состояниями системы {**S**} и конструктивно-технологическими параметрами детали {**P**}, определяется функционалом Ф, выражающим теоретико-множественное соответствие

{q}= [{**X**},{**Z**},{**V**},{**P**},Ф] с учетом определения разных способов осуществления этого соответствия в виде процедур, реализующих зависимости $P_i = f_i(x_1, x_2, x_3, \ldots, x_m)$. Оператор **H**, устанавливающий функциональную связь между переменными, в дальнейшем определяется с использованием либо регрессионных зависимостей, либо при помощи моделей, построенных на основе искусственных нейронных сетей

Таким образом, с учетом наличия управляющих воздействий со стороны ЛПР, имеем модель:

$$\sum = [\boldsymbol{T}, \{\mathbf{S}\}, \{\mathbf{U}\}, \{\boldsymbol{\Omega}\}, \{\mathbf{P}\}, \{\boldsymbol{\Gamma}\}, \{\mathbf{V}\}, \mathbf{H}, \boldsymbol{\Phi}]. \quad (3)$$

В развернутом виде с учетом приведенных преобразований:

$$\sum = [\boldsymbol{T}, \{\mathbf{S}\}, \{\mathbf{X}\}, \{\mathbf{Z}\}, \{\boldsymbol{\Omega}\}, \{\mathbf{P}\}, \{\boldsymbol{\Gamma}\}, \{\mathbf{V}\}, \mathbf{H}, \boldsymbol{\Phi}]. \quad (4)$$

Приведенный агрегат соответствует системе управления моделью формирования массива конструктивно-технологических параметров детали (рис. 1).

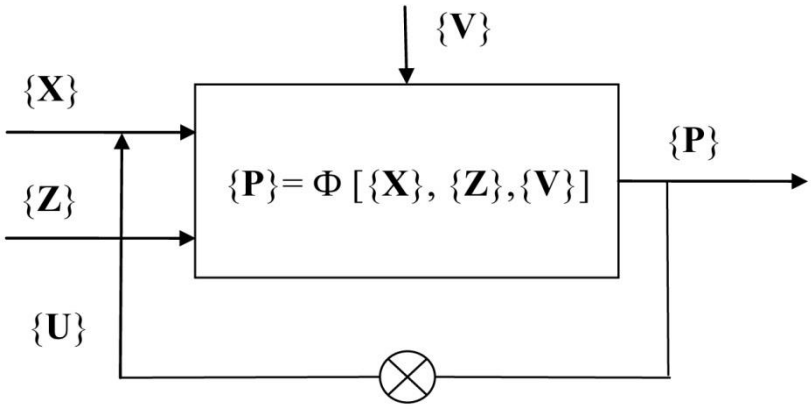


Рис. 1 - Система управления процессом формирования массива конструктивно-технологических параметров детали P_p

Анализ особенностей применения предложенной выше модели, проведенный на основе признаков, сформулированных в [6], позволил определить ее характерные свойства:

•*Динамичность.* Обусловлена наличием зависимости выходных параметров модели не только от входных воздействий в текущий момент времени t_i, определяемых параметрами элементов, но и от их предыдущих значений в моменты $t_i - \tau$;

•*Нелинейность.* Определяется тем, что реакция модели на изменения двух и более входных воздействий не эквивалентна сумме реакций на каждое из этих возмущений в отдельности;

•*Детерминированность.* Определена отсутствием внутри модели элементов с неконтролируемым или стохастическим изменением их параметров и соответствующими зависимостями от них выходных параметров модели;

• *Дискретность.* Задается характером изменения параметров элементов, принимающих значения из конечного множества величин и изменяемых в дискретно определенные моменты времени.

•*Стационарность.* Определяется независимостью реакции системы от промежутка времени, на который эта реакция определена, при условии, что система находилась в заданном состоянии, определяемом зафиксированным конечным множеством элементов и их параметров. То есть основные соотношения (функционал **Ф**) и структура модели не меняются во времени.

Перечисленные свойства позволяют применить для ее описания математическое определение динамической модели [5].

Такое определение позволяет выработать общую терминологию, единый универсальный математический аппарат и выявить общие закономерности и единство в разнообразных приложениях модели. В каждом конкретном применении путем введения условий, ограничений и упрощений становится возможным получение полезных результатов, адекватных практической реализации моделируемых систем.

Анализ предлагаемой динамической информационной модели формирования массива конструктивно-технологических параметров детали позволяет выявить ее непосредственную связь с моделями функционирования динамических систем автоматического управления, применяемыми в соответствующих САПР и построенными в соответствии с классическим определением динамической системы [5]. Действительно, в отличие от развиваемых в работах [5] моделей различных систем автоматического управления, где оператор ***G***, устанавливающий связь между состоянием системы и ее выходной величиной, описывается в виде дифференциальных уравнений, в нашем случае ***G*** определяется функционалом **Ф**, выражающим теоретико-множественное соответствие **{q}=[{X},{Z},{V},{P}, Ф**] с учетом воздействия внешних факторов **{V}.**

Таким образом, проведенный анализ динамической модели при проектировании дает возможность определить предлагаемую математическую модель (3) как структурно-параметрическую модель в пространстве состояний [5,6]. Модель позволяет описывать функционирование САПР в процессе формирования конструктивно-технологических параметров при проектировании детали.

Список литературы

1. *Бурков, В.Н.* Основы математической теории активных систем / В.Н. Бурков.–М.:Наука, 1977.–255 с.
2. *Хранилов, В.П.* Нечеткая динамическая модель интерактивного распределения вычислительных ресурсов / В.П. Хранилов, Д.В. Прохоров // Системы управления и информационные технологии. 2006. № 4.1(26). С. 189-193.
3. *Тесленко, Е.В.* Информационная модель массива параметров деталей машиностроения для системы технологического и метрологического сопровождения процесса проектирования/ Е.В. Тесленко, В.В. Андреев // Научно-технический вестник Поволжья. – 2012. – № 3. – С. 40-44.
4. *Бусленко, Н.П.* Моделирование сложных систем/ Н.П. Ьусленко. – М.: Наука, 1978.- 400 с.
3. *Калман, Р.* Очерки по математической теории систем / Р.Калман, П. Фалб, М. Арбиб; под ред. Я.З. Цыпкина. – М.: Мир, 1971. – 400 с.
4. *Стрейц, В.* Метод пространства состояний в теории дискретных линейных систем управления / В. Стрейц; пер. с англ. Под ред. Я.З. Цыпкина. – М.: Наука, 1985. – 296 с.
5. *Растригин, Л.А.* Современные принципы управления сложными объектами/ Л.А. Растригин. – М.: Сов. Радио, 1980. – 232 с.
6. *Пупков, К.А.* Методы классической и современной теории автоматического управления: В 3 т.: Т. 3: Методы современной теории автоматического управления/ К.А. Пупков, Н.Д. Егупов. А.И. Баркин; под ред. Н.Д. Егупова. – М.: МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2000. – 748 с.

05.17.04

К.В. Чалов, Ю.В. Луговой, А.Ю. Косивцова, Ю.Ю. Косивцов, Э.М. Сульман

Тверской государственный технический университет,
химико-технологический факультет, кафедра биотехнологии и химии,
Тверь, kosivtsov@science.tver.ru

КОМПЛЕКСНЫЕ КАТАЛИТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ С ПОЛУЧЕНИЕМ ТЕПЛОВОЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Статья посвящена обзору технологий получения топлив и энергии на основе углеродсодержащих отходов. Основное внимание уделено повышению эффективности указанных процессов путем каталитического воздействия. Рассмотрены технологии газификации углеродсодержащих отходов и процессы переработки получения горючих газов.

Ключевые слова: *углеродсодержащие отходы, газификация, катализатор, электрическая энергия.*

ВВЕДЕНИЕ

Успех реализации программ по энергосбережению неразрывно связан с разработкой технологий, использующих нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Применение каталитических технологий при производстве традиционных топлив позволяет интенсифицировать процессы рафинирования и облагораживания низкосортного природного сырья, приводя к снижению стоимости и повышению экологичности топлив. Такие технологии могут быть применены и применяются для переработки возобновляемых источников, таких как углеродсодержащие и органические отходы.

Значительный потенциал в данной области энергетики связан прежде всего с тем, что топливо, получаемое при переработке углеродсодержащих отходов, является частью естественного кругооборота веществ в природе, не влияет на климат и содействует созданию новых рабочих мест [1]. Вещества, взятые из окружающей среды, возвращаются назад, и при грамотной эксплуатации этот процесс бесконечен. Не менее актуальной является разработка новых технологий утилизации органических отходов с целью получения энергии. После Всемирной конференции по окружающей среде (Рио-де-Жанейро, 1992) во всех промышленно развитых странах, странах с переходной экономикой и во многих развивающихся странах начали разрабатываться стратегии устойчивого развития, включающие природоохранные аспекты. Во многих странах составляются национальные, региональные и местные планы по охране окружающей среды, важным компонентом которых являются проблемы управления отходами, в том числе промышленными стоками.

Новым и достаточно перспективным направлением повышения эффективности переработки углеродсодержащих и органических отходов является внедрение каталитических процессов. По сравнению с традиционным органическим синтезом, катализ в переработке углеродсодержащих отходов имеет ряд особенностей, связанных с характером органогенного сырья, его химической неоднородностью, множественностью механизмов реакций термической конверсии. Наиболее сложной проблемой до настоящего времени остается регенерация катализаторов, а также их удаление из минеральной части катализата. Тем не менее, в настоящее время существует достаточно большое количество технологий каталитической переработки углеродсодержащих отходов, основные из которых рассмотрены в данном обзоре [2].

ГАЗИФИКАЦИЯ УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ

Газификация традиционно осуществляется в реакторах с неподвижным или псевдоожиженным слоем с воздушным, кислородным, паровым дутьем или их комбинацией. Газификация с воздушным дутьем позволяет получать газовые смеси с теплотой сгорания в диапазоне 3-6 МДж/м^3 в зависимости от типа сырья и условий проведения процесса [3].

В последнее время возрос интерес к исследованию каталитической газификации. Обнаружено, что щелочные катализаторы (карбонаты натрия, калия и др.) значительно повышают выход синтез-газа при газификации водяным паром в интервале температур 550-750°C. Соли переходных металлов, хотя и проявляют высокую активность на начальной стадии реакции, дезактивируются в ходе процесса [4].

Используются различные приемы осуществления процессов каталитической газификации. Газификация механических смесей субстрата и катализатора отличается технической простотой, но менее эффективна по сравнению с другими приемами каталитической газификации вследствие ограниченной поверхности контакта гетерогенного катализатора с твердым сырьем. Исключение составляют механические смеси на основе катализаторов, способных плавиться или возгоняться при температуре процесса. В газификации древесного угля CO_2 (реакция Будуара) при температуре 800°C катализаторы располагаются по активности в ряду [4]:

$$Co > Ca > Ni > Mg\text{-}K\text{-}Na > Cu.$$

Наиболее высокую активность проявляет кобальтовый катализатор, подвергнутый пиролизу при температуре 600°C и содержащий частицы металлического кобальта в матрице древесного угля.

Основными компонентами получаемой газовой смеси (сингаза), в зависимости от вида сырья и условий газификации, являются оксид углерода (II), оксид углерода (IV), водород, метан, вода и азот.

Определенное количество углеродсодержащих отходов конвертируется в смолу, комплексную смесь жидких углеводородов. Для предотвращения процессов загрязнения и коррозии технологического оборудования необходимо, чтобы содержание смолы в получаемом газе не превышало 50-100 мг/нм^3 [5]. Общий термин "смолы" объединяет комплекс кислородсодержащих органических соединений, получаемых при термической обработке углеродсодержащих отходов. Состав смол зависит в основном от температуры и времени газификации. Так, при повышении температуры от 450 до 950°C в смолах обнаруживаются следующие соединения (в порядке возрастания) [6]: смешанные кислородсодержащие соединения, эфиры фенола, простые эфиры, эфиры гетероциклических соединений, полиароматические углеводороды.

Наиболее рациональной технологией обессмоливания в настоящее время считается высокотемпературная каталитическая конверсия газовых смесей [7, 8]. Основное внимание уделяется следующим направлениям (возможна комбинация рассматриваемых процессов) [3, 9]:

- газификация субстрата в реакторе с псевдоожиженным слоем в присутствии природных минералов (доломит, кварцевый песок и т.п.),
- применение вторичного каталитического реактора крекинга-риформинга (используются неметаллические катализаторы - оксиды, активированный уголь, доломит, а также более эффективные контакты на основе Ni, Ni/Mo, Ni/Co, Ni/Co/Mo, NiO, Pt, Ru),
- разогрев газообразных продуктов до температуры выше 1200°C с добавлением кислорода.

Рафинированная газовая смесь может быть использована для нужд малой тепло- и электроэнергетики, а также в синтетических целях для получения энергоносителей и моторных топлив. Основными направлениями переработки синтез-газа являются:

- синтез Фишера-Тропша;
- синтез метанола;
- синтез диметилового эфира.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработка технологий утилизации биомассы и органических отходов с целью получения энергии имеет важное значение с точки зрения энергосбережения и экологии. Широкое внедрение каталитических процессов позволяет повысить эффективность утилизации путем снижения производственных затрат, увеличения степени конверсии органогенных продуктов, а также повышения экологичности. К настоящему времени разработано значительное количество технологий утилизации органических отходов в качестве энергоисточников, однако большинство продуктов являются неконкурентоспособными по сравнению с традиционным нефтегазовым сырьем. Ведущая роль в улучшении данной ситуации принадлежит правительственным и общественным организациям, заинтересованным в оздоровлении экологии и снижении техногенной нагрузки на окружающую среду.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации.

Список литературы

1. Bioenergi-Fissilbransle. // Swebio.- 1998.- Vol. 3
2. Инишева Л.И., Маслов С.Г., Архипов В.С. и др. // Торфяная отрасль России на рубеже XXI века: проблемы и перспективы (Материалы науч.-практ. конф. ученых и производственников торфяной отрасли с международным участием. Тверь, 15-17 сентября 1999 г.) - Ч.1.- С.39-45.
3. Ising M., Gil J., Unger C.H. // 1st World Conference and Exibition on Biomass for Energy and Industry, 5-9 June, 2000; Sevilla, Spain.- P.1775-1778.
4. Кузнецов Б.Н. // Соросовский образовательный журнал .-1996.-N 11, С. 50-59.
5. Milne T.A.; Abatzoglou N., Evans, R.J. Biomass Gasifier Tars: Their Nature, Formation, and Conversion // National Renewable Energy Laboratory, November 1998.
6. Baker E.G., et al. Engineering analysis of biomass gasifier product gas cleaning technology.- Washington: Pacific Northwest National Laboratory, 1986.- 86 p.
7. Caballero M.A., Aznar M.P., Corella, J. et al. // 4th Biomass Conference of the Americas, 1999.
8. Simell P. Catalytic hot gas cleaning of gasification gas. VTT Publications 330. Technical research centre of Finland, Espoo, 1997.
9. Don J. Stevens. Hot gas conditioning: Recent progress with larger-scale biomass gasification systems.- Washington: Pacific Northwest National Laboratory, 2001.- 102 p.

05.17.04

К.В. Чалов, Ю.В. Луговой, А.Ю. Косивцова, Ю.Ю. Косивцов, Э.М. Сульман

Тверской государственный технический университет,
химико-технологический факультет, кафедра биотехнологии и химии,
Тверь, kosivtsov@science.tver.ru

ТЕРМОКАТАЛИТИЧЕСКОЕ РАЗЛОЖЕНИЕ ОРГАНИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ КАК МЕТОД ПОЛУЧЕНИЯ ГАЗООБРАЗНОГО ТОПЛИВА И ГИДРОФОБНОГО ТВЕРДОГО ОСТАТКА

В статье представлены результаты исследования термической деструкции органических материалов (композиций торф – органические отходы) с получением газообразного топлива с высокой теплотой сгорания.

Ключевые слова: *торф, низкотемпературный каталитический пиролиз, бентонитовая глина, синтетические цеолиты, углеводороды, теплота сгорания.*

Физико-химические методы переработки торфа и других видов биомассы позволяют значительно расширить возможности применения сырья и повысить качественнее показатели продукции. Термическое разложение торфа является одним из самых распространенных методов его переработки, которое значительно повышает его ценность как химического сырья [1]. В процессе термического распада компонентов торфа образуется газ, который может быть использован в качестве топлива и сырья для химической промышленности, и твердый сухой остаток, обладающий гидрофобными свойствами, потенциально пригодный для использования в качестве сорбента для нефтепродуктов.

В настоящее время, в связи с повышением цен на такие энергоносители как нефть, природный газ, все большее значение приобретают исследования в области каталитического пиролиза как эффективного метода переработки органогенного сырья с целью получения жидкого и газообразного топлива.

Для экономики РФ особенно острой проблемой является энергообеспечение отдаленных и труднодоступных районов страны. Большую роль в способах производства тепловой энергии играет доставка топлива (нефть, природный газ, каменный уголь) на энергетические предприятия. Традиционно для этих целей используются трубопроводы, а также наземный или водный транспорт. Вместе с тем многие регионы РФ имеют запасы собственных энергоносителей, среди которых торф является наиболее перспективным сырьем для получения энергии.

Однако следует заметить, что существующие технологии переработки такого топлива как торф малоэффективны и неэкономичны. Одним из решений данной проблемы может быть низкотемпературная (до 700°С) термодеструкция торфа. При этом значительно упрощается конструкция теплогенераторов и котлов, без снижения КПД установок. Такой подход возможен при каталитическом пиролизе сырья, т.е. при получении газа из торфа и других органических материалов в присутствии катализаторов.

В исследованиях каталитического действия природных и синтетических алюмосиликатов на процессы пиролиза торфа в качестве катализаторов были использованы каолиновая, бентонитовая и кембрийская глины, глинистый мергель, а также синтетические цеолиты Fe-H-ZSM-5-IE, Fe-H-Beta-25-IE, Fe-H-Mord-20-IE, Fe-H-Y-12-IE, Fe-H-Beta-150-IE и H-Beta-25 производства компании «Zeolyst International» (США).

Каталитическое действие природных алюмосиликатных материалов и искусственных цеолитов оценивалось по величине объема выделяющейся газовой смеси, получаемой в процессе пиролиза торфа, а также по величинам концентраций углеводородов в газовых смесях и теплоты сгорания горючих газов.

Анализ данных показал, что в присутствии природных алюмосиликатных материалов и искусственных цеолитов пиролиз торфа приводит к увеличению объема получаемого пиролизного газа. Из экспериментальных кривых, приведенных на рис. 1, следует, что объем газовой смеси в присутствии катализаторов увеличивается в 1,1-1,2 раза. Например, в присутствии бентонитовой глины объем газовой смеси по сравнению с некаталитическим процессом увеличился в 1,1 раза.

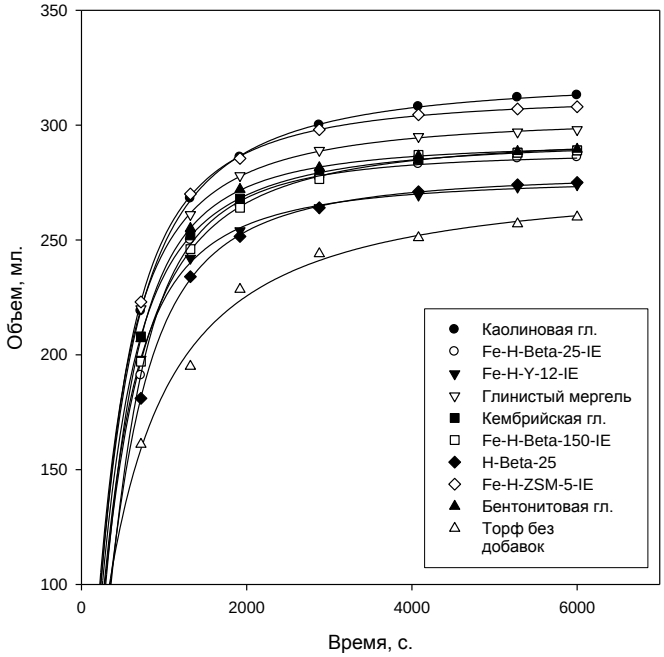


Рис. 1. Изменение объема газовой смеси в процессе пиролиза в присутствии различных катализаторов при температуре 460 ˚С, концентрация катализатора составляла 30%

При использовании катализаторов наблюдалось заметное увеличение количества выделяющихся углеводородов в газовой смеси. Их значения более чем в 1,3-2 раза превысили величины, полученные при пиролизе образца, не содержащего катализаторы.

Наибольшее количество углеводородов было получено в присутствии бентонитовой глины и искусственного цеолита Fe-H-ZSM-5-IE, что согласуется с литературными данными, описывающими цеолит H-ZSM-5 как наиболее оптимальный катализатор для процессов пиролиза.

Таким образом, проведенный анализ экспериментальных данных позволяет сделать вывод о том, что наибольшую каталитическую активность показали бентонитовая глина и синтетические цеолиты Fe-H-ZSM-5-IE и Fe-H-Mord-20-IE, в присутствии которых количество выделившихся углеводородов и значение теплоты сгорания были максимальными.

Твердый остаток, образующийся в результате термического разложения торфа, представляет собой перспективный углеродный сорбент, что обусловлено рядом преимуществ торфяного сырья [2]:

– торф во влажном состоянии представляет собой очень пластичный материал, который легко смешивается с различными добавками и хорошо гранулируется;

– торфяные месторождения разнообразны по составу и свойствам сырья, что позволяется получать активные угли с широким спектром сорбционных характеристик;

– торф является сравнительно дешевым и экологически безопасным сырьем.

В настоящее время основные направления использования углеродных сорбентов связаны с технологическими процессами адсорбционной очистки, разделения, выделения и концентрирования в газовых и жидких средах. Постоянно возрастает роль углеродных

сорбентов в решении проблем экологии: очистке питьевой воды, стоков, отходящих газов предприятий промышленности и энергетики [3, 4].

Анализ химического группового состава торфа показывает, что почти все его компоненты хорошо смачиваются водой и взаимодействуют с ней, и лишь битумы гидрофобные [5]. Как показывает литературный обзор, повышение гидрофобных свойств торфяного сырья начинает проявляться уже при температурах свыше 120 - 150°С, что обусловлено гистерезисными явлениями в его структуре [6]. При дальнейшем увеличении температуры происходят химические изменения и выделение газообразных и жидких продуктов разложения. Как следует из графика (рис. 2) при термообработке фрезерного торфа наблюдается повышение емкости сорбции нефтепродуктов с ростом температуры. Фрезерный торф, обладающий высокими значениями емкости поглощения нефтепродуктов, имеет ряд недостатков при использовании (сложность сбора крошкообразного торфа, слабая связь нефтепродукта с сорбентом), что на практике делает затруднительным его успешное применение как качественного сорбента. Переработка и грануляция, снижающие величину емкости поглощения, позволяют исключить вышеупомянутые недостатки и придать торфу более высокую технологичность.

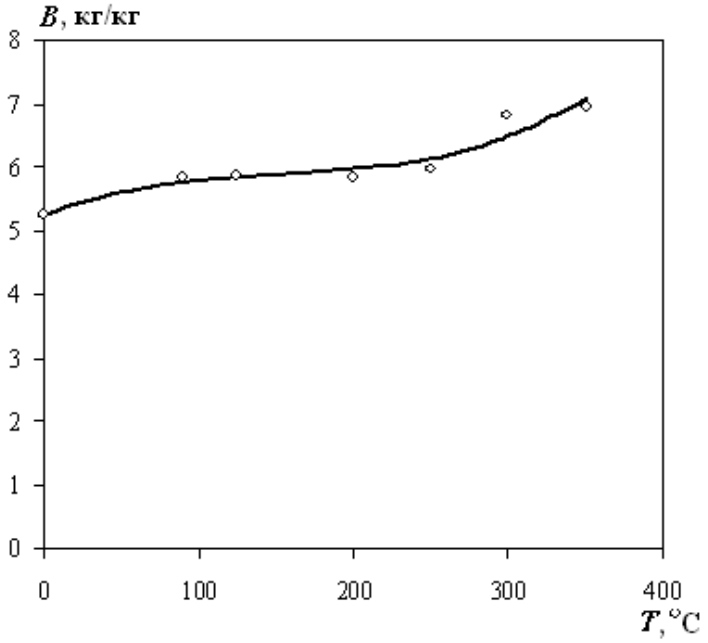


Рис. 2. Зависимость емкости поглощения нефтепродуктов *B*, кг/кг фрезерным торфом от температуры обработки *T*,°С

Исследования сорбционной способности композиций на основе торфа с добавками глин позволили установить, что внесение минеральных компонентов снижает емкость поглощения нефтепродуктов (рис. 6). Однако, рассматривая использование композиций в качестве сорбентов как направление утилизации отходов процесса пиролиза, можно сделать предположение, что такие материалы могут быть конкурентоспособными вследствие малых затрат на их производство.

Для сбора разливов нефтепродуктов с поверхности водных объектов сорбционный материал должен обладать устойчивость к воздействию влаги, однако торф, не подверженный термообработке, при сравнительно большом времени нахождения в воде может поглощать влагу, тем самым теряя свои качественные показатели. При пиролизе торфяного сырья наблюдается снижение объема впитываемой влаги и отсутствие набухания.

Торфяной сорбент, поглотивший нефтепродукты может быть утилизирован посредством сжигания или повторно подвергнут процессу пиролиза. Поскольку при низких температурах (300…500°С), которые требуются для термообработки композиций на основе торфа, как правило, не наблюдается значительных изменений в свойствах глин, то повторный пиролиз

торфяного сорбента с минеральными компонентами должен протекать с каталитической активностью.

Таким образом, в работе рассмотрена возможность безотходной термической переработки торфа с получением пиролизных газов и гидрофобного сорбента. Следует также отметить, что торф представляет собой экологически безопасный материал, и ущерб, наносимый окружающей среде, по сравнению с другими видами сырья будет значительно ниже. Последнее обусловлено пониженным содержанием серы и малым содержанием в продуктах горения торфа таких опасных веществ как канцерогены (например, бензапирен).

Работа выполена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации.

Список литературы

1. *Раковский В.Е.* Общая химическая технология / В.Е. Раковский М.-Л: Госэнергоиздат, 1949. – 363 с.
2. *Дрожалина Н.Д.* Углеродные молекулярные сита на основе торфа.– Мн.: Наука и техника, 1984. – 150 с.
3. *Кузнецов Б.Н.* Синтез и применение углеродных сорбентов / Б.Н. Кузнецов // Соросовский Образовательный Журнал. - 1999. -№ 12. - С. 29-34.
4. *Испирян С.Р.* Разработка методики комплексной оценки поглощения торфом нефтепродуктов: дис…. канд. техн. наук / С.Р. Испирян. – Тверь, 2001. – 149 С.
5. *Лыч А.М.* Гидрофильность торфа / А.М. Лыч. - Мн: Наука и техника, 1991.-257 с.
6. *Гамаюнов Н.И.* Сорбция в гидрофильных материалах / Н.И. Гамаюнов, С.Н. Гамаюнов. - Тверь: ТГТУ, 1997. - 160 с.

05.23.02

Д.Ю. Чунюк к.т.н., С.А. Сергеев

ФБГОУ ВПО «МГСУ», ИГЭС, каф. МГрОиФ,
Москва, chunyuk@mail.ru

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ (МКЭ) ПРИ РАСЧЕТАХ И ПРОЕКТИРОВАНИИ УСИЛЕНИЯ ФУНДАМЕНТОВ РЕКОНСТРУИРУЕМЫХ ЗДАНИЙ

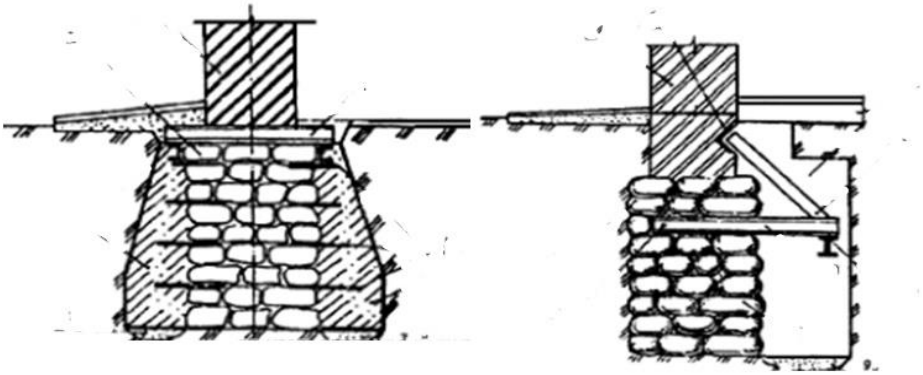
В настоящей работе проводилась оценка сходимости методов расчета осадок реконструируемого здания согласно нормативным источникам и с помощью конечно-элементного моделирования в программе PLAXIS 2D на примере реконструкции промышленного цеха.

Ключевые слова: *осадки здания, изменение прочностных характеристик, расчетное сопротивление.*

Увеличение действующих нагрузок при реконструкции зданий и сооружений в большинстве случаев требует усиления фундаментов и, как следствие, приводит к изменению напряженно-деформированного состояния (НДС) основания. Обратим внимание на то, что при расчете усиления необходимо учитывать сформировавшееся в течение длительного времени НДС основания сооружения и его возможное изменение вследствие реконструкции [1, 2, 3].

Классическим методом усиления фундаментов мелкого заложения является увеличение опорной площади путем создания банкетов [4]. Примеры вариантов конструкции приведены на рис. 1.

Целью настоящей работы является оценка схождения методов расчета осадок реконструируемого здания согласно нормативным источникам и с помощью конечно-элементного моделирования на примере реконструкции промышленного цеха по адресу Магистральный переулок, 11, где проводилась перепланировка здания с надстройкой одного этажа, а также установка в здании перекрытий вследствие изменения предназначения.



«Рис.» *1- Конструкции банкетов*

В соответствии с проведенным расчетом увеличение нагрузок на фундаменты потребовало изменения их конструкции, в частности увеличения ширины подошвы. Установлено, что прочностные характеристики грунтов оснований (угол внутреннего трения φ и сцепление c) улучшаются в результате длительного обжатия нагрузкой с течением времени. Этот имеет большое практическое значение при расчетах усиления реконструируемых зданий. Согласно СНиП [5] коэффициенты M_γ, M_q и M_c с увеличением φ, принимаемые по табл. 4 в зависимости от расчетного значения угла внутреннего трения грунта, находящегося непосредственно под подошвой фундамента, быстро возрастают. Благодаря наблюдениям Ю.Н. Дворкина [6] и основываясь на опытных данных, собранных в

процессе работы им были предложены следующие формулы для определения новых φ и c (прочностных показателей грунтов):

$$\varphi = \varphi_0 + k_1 t, \quad c = c_0 + k_2 t, \tag{1}$$

где φ и c – прочностные показатели грунтов в настоящее время; φ_0, c_0 – то же, в природном состоянии; t – время существования здания в годах; k_1 и k_2 – параметры вышеприведённых зависимостей по определению φ и c.

Общая тенденция по исследованиям П.А. Коновалова [4] такова, что сцепление возрастает вдвое, а угол внутреннего трения увеличивается на 1–2 градуса, в результате длительного обжатия грунтов нагрузкой от сооружений. Расчетное сопротивление грунта R может в значительной степени возрасти за счет изменения значения коэффициента M_c, зависящего от сцепления. Так, основываясь на массовых обследованиях оснований сооружений, необходимо определять новое расчетное сопротивление уплотненного грунта $R_{уп}$. Расчетное сопротивление грунта основания эксплуатируемого здания согласно СНиП определяется по формуле:

$$R_{уп} = \frac{\gamma_{c1} \cdot \gamma_{c2}}{K} [M_\gamma \cdot k_z \cdot b \cdot K \cdot \gamma + M_q \cdot d_1 \cdot \gamma'_{II} + \left(M_q - 1\right) \cdot d_b \cdot \gamma'_{II} + M_c \cdot c_{II} \cdot K_c] K_s, \tag{2}$$

где γ'_{II} – удельный вес грунта, залегающего ниже подошвы фундамента, c_{II} – сцепление грунта при расчете по II группе предельных состояний, K'_γ и K_c – коэффициенты, учитывающие изменение γ'_{II} и c_{II} за период эксплуатации здания.

Величины M_γ, M_q и M_c принимаются по СНиП′у, но для нового угла внутреннего трения грунта

$$\varphi = \varphi_{II} K_\varphi, \tag{3}$$

где φ_{II} – угол внутреннего трения грунта при расчете по II группе предельных состояний, K_φ – коэффициент, учитывающий изменение φ_{II} за период эксплуатации здания. Все коэффициенты берутся из таблиц в зависимости от начальных (природных) свойств грунтов. Коэффициент K_s учитывает степень реализации (использования) предельной осадки за период эксплуатации здания. Осадка здания определялась методом послойного суммирования:

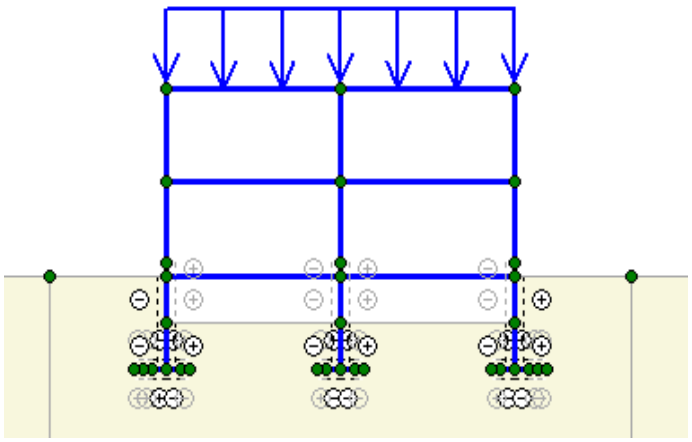
$$s = \beta \cdot \sum_{i=1}^{n} \frac{G_{zp,i} \cdot h_i}{E_i}, \tag{4}$$

где β – безразмерный коэффициент, зависящий от коэффициента относительных поперечных деформаций, принимаемых равным 0,8;

h_i – высота i-го слоя; E_i – модуль деформации i-го слоя грунта.

Получив значения осадок методом послойного суммирования, задача решалась численным методом, затем сравнивались полученные значения на конкретных этапах нагружения.

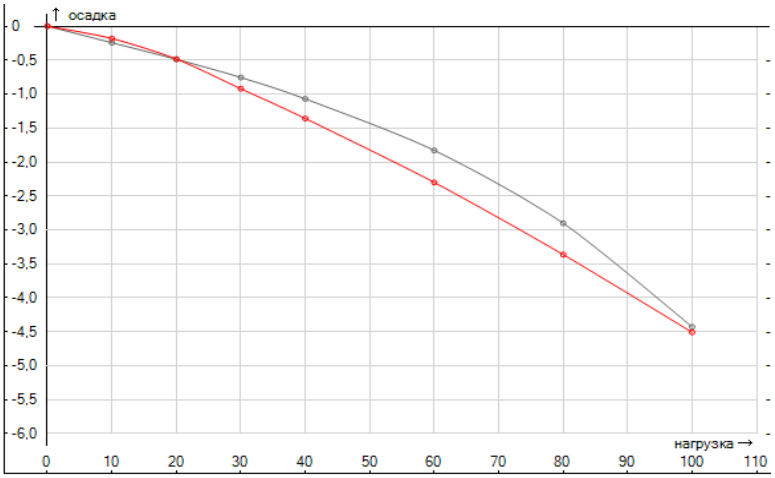
В нашем случае для конечно-элементного моделирования применялся программный комплекс PLAXIS 2D [7], позволяющий учитывать нелинейные свойства грунтовой среды и поэтапность загружения. Краевая задача моделировалась в плоской постановке и представляла собой жесткий каркас здания, опирающийся на ленточный фундамент и устроенные банкеты, взаимодействующие с грунтовым основанием, реализующим модель Кулон-Мора. Общий вид модели представлен на рис.2. Входными параметрами являются модуль общей деформации E, коэффициент Пуассона ν сцепление c и угол внутреннего трения φ.



«Рис.» 2- *Общий вид модели краевой задачи.*

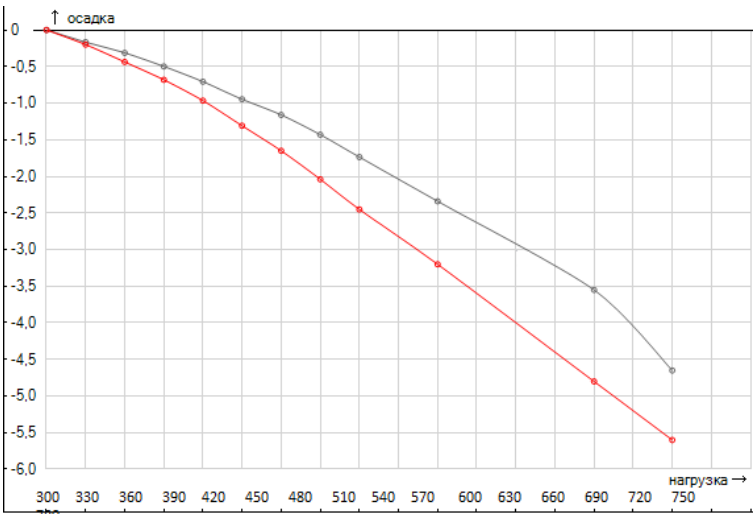
Траектория нагружения следовала следующим этапам. На первом этапе формировалось НДС основания от действия собственного веса грунта основания и существующих конструкций здания до реконструкции. На втором этапе производилось устройство банкетов. На третьем этапе включались в работу банкеты и проводилось нагружение до достижения I-го предельного состояния.

В результате были получены значения осадок, вычисленных по методу послойного элементарного суммирования, а также с использованием программного комплекса PLAXIS на всех этапах нагружения. Результаты расчетов представлены в графическом виде на рис. 3 и рис.4.



«Рис.» 3- *Зависимость осадка-нагрузка до реконструкции*
Красная линия – расчет в PLAXIS, серая линия – расчет по СНиП.

Анализ графиков, представленных на рис.3, показывает, что наибольшее расхождение результатов расчета по формулам СНиП и расчета в PLAXIS (составляющее 12%), вызвано тем, что при расчете по СНиП имеется ярко выраженный участок линейно-упругого деформирования, прежде чем возникают пластические деформации. И наоборот при расчете в PLAXIS мы имеем более сглаженную кривую вследствие того, что модель Кулона-Мора с ранних этапов нагружения учитывает пластические деформации.



«Рис.» 4- *Зависимость осадка-нагрузка после реконструкции*
Красная линия – расчет в PLAXIS, серая линия – расчет по СНиП.

Так нагрузка в 300 кН, соответствует первоначальному состоянию объекта до реконструкции. На графике видно, что мы имеем достаточно большую разницу в значениях (24-29%) вызванную тем, что при расчете по формулам СНиП учитывается только $R_{уп}$, за счет которого увеличивается предельно допустимая нагрузка на фундамент, и не учитываются пластические зоны в основании здания возникшие еще до реконструкции.

Результатом представленного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Применение инженерных методов для оценки включения в работу банкетов в большинстве случаев не позволяет в достаточной степени учесть особенности конструкции и неравномерность залегания инженерно-геологических элементов в сжимаемой толще.

2. Учет упрочнения грунта в зависимости от времени в инженерных методах построен на эмпирическом коэффициенте K_s. Введение в инженерные методы расчетов грунтовых моделей, позволяющих учесть разгрузку и повторное нагружение грунта, а также изменение прочностных характеристик в зависимости от времени действия нагрузки приводит к существенному усложнению расчета.

3. Для оценки эффективности применения того или иного метода реконструкции фундаментов сооружения целесообразно применять численные методы и, в частности, конечно-элементное моделирование.

Список литературы

1. *Ухов С.Б. и др.* Механика грунтов, основания и фундаменты. -Москва: АСВ. 2005 г.
2. *Власов А.Н., Мнушкин М.Г.* Моделирование задач геомеханики на основе объектно-ориентированного подхода. // Геотехника, 2010, №1, с.38-48.
3. *Власов А.Н., Волков-Богородский Д.Б., Знаменский В.В., Мнушкин М.Г.* Конечно-элементное моделирование задач геомеханики и геофизики. // Вестник Московского государственного строительного университета. 2012, № 2, -С. 52-65.
4. *Коновалов П.А. и др.* Основания и фундаменты реконструируемых зданий. ВНИИНТПИ. 2000 г.
5. СНиП [2.02.01-83*].
6. *Полищук А.И.* Назначение расчетного сопротивления грунта основания при проектировании фундаментов реконструируемых зданий. // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2000. № 3.
7. Руководство пользователя программного комплекса PLAXIS 2D.

АННОТАЦИИ
ABSTRACTS

Б.Н. Иванов, В.С. Минкин, Е.Л. Древницкая
ОСНОВЫ МЕТОДОЛОГИИ СОЗДАНИЯ РАЦИОНАЛЬНОЙ КЛАССИФИКАЦИИ СОВМЕСТИМОСТИ НЕФТЕЙ И ПАВ. ЧАСТЬ I.
Ключевые слова: новые технологии, ассоциативность, нефтесодержащие системы, ПАВ.

Перспективы биосферы Земли, по сути, определяются уровнем химической технологии: три миллиона веществ в биосфере, ранее в природе не встречающихся, загрязнение атмосферы, воды и почвы и, как следствие этого, исчезновение и мутирование более 2000 видов живых организмов в год. В соответствии с этим актуально создание принципиально новых технологий добычи, подготовки и переработки нефти. Решению этой задачи способствует совместное классифицирование реактантов и процессов, в которых те участвуют.

B.N. Ivanov, V.S. Minkin, E.L. Drevnitskaya
THE BASICS OF METHODOLOGY FOR CREATING RATIONAL CLASSIFICATION FOR PETROLEUM AND SURFACE-ACTIVE SUBSTANCES COMPATIBILITY. PART I.
Keywords: new technologies, associativity, oily mixtures, surface-active substances.

The future of Earth's biosphere are strictly dependant on the chemical technology level: 3 millions of new compounds, that never ever existed in nature, pollute the atmosphere, water and soil and, as a consequence, more than 2000 species mutate or become extinct every year. It is vital to create some fundamentally new technologies of petroleum production and refining. Combined classification of reactants and processes, in which they are used, can help finding a solution to this problem.

А.А. Валеев
ВЛИЯНИЕ ИНДУЦИРОВАННОЙ ФЛУКТУАЦИЯМИ ПЛОТНОСТИ УПРУГОЙ ДЕФАЗИРОВКИ НА ОТКЛИК КАРС В СИСТЕМЕ СФЕРИЧЕСКИ СИММЕТРИЧНО ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ ЧАСТИЦ ФЛЮИДА ВБЛИЗИ КРИТИЧЕСКОЙ ТОЧКИ
Ключевые слова: критические явления, КАРС, спектральная ширина, дефазировка.

Данная работа посвящена исследованию влияния упругой дефазировки на отклик КАРС комбинационно активного перехода в системе сферически симметрично взаимодействующих частиц флюида вблизи критической точки. Получено улучшенное выражение для упруго дефазированного отклика в схемах нестационарной и стационарной КАРС.

A.A. Valeev
EFFECT OF THE DENSITY FLUCTUATIONS INDUCED ELASTIC DEPHASING ON THE CARS SPECTRUM OF THE SPHERICALLY SYMMETRIC INTERACTING FLUID PARTICLES IN THE CRITICAL POINT VICINITY
Key words: critical phenomena, CARS, spectral width, dephasing.

The given work is dedicated to the study of the influence of the elastic dephasing on a CARS-response of a system of fluid particles interacting by spherically symmetric forces in the critical point vicinity. The improved expression for the time-domain and stationary CARS responses is deduced.

В.В. Дружинин, А.Г. Ломтев, А.Г. Сироткина
МЕТОД БЫСТРОЙ ФАКТОРИЗАЦИИ ЧИСЕЛ
Ключевые слова: факторизация, признаки деления, массив составных чисел.

Предложен метод факторизации чисел, основанный на разбиении числовой оси на «этажи», использовании детерминантного признака делимости и выделении односвязного массива составных чисел. При этом на бытовом компьютере удается факторизовать произвольные числа до 700-1000 порядков. Дана таблица первых простых чисел первых 2000 этажей.

V.V. Druzhinin, A.G. Lomtev, A.G. Sirotkina
METHOD OF THE QUICK FACTORIZATION OF NUMBERS
Key words: factorization, the criterion of divisibility, the array of compound numbers.

The article introduces the method of factorization of numbers which is based on the fragmentation of the number axis into so-called "floors" and the usage of the determinant sign of divisibility and abstraction of the linear array of compound numbers. At the same time with the help of personal computer it's possible to factorize random numbers to 700-1000 degree. The table of the first prime numbers of the first 2000 "floors" is given in the article.

С.В. Ершов, А.В. Казаков
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА В КАНАЛЕ ДОЗИРУЮЩЕГО ЭКСТРУДЕРА
Ключевые слова: экструдер, численное исследование, математическая модель.

S.V. Ershov, A.V. Kazakov
MATHEMATICAL MODELING AND NUMERICAL STUDY OF HEAT AND MASS TRANSFER PROCESSES IN THE METERING EXTRUDER CHANNEL
Keywords: extruder, numerical analysis, mathematical model, finite element method.

В работе проведено численное исследование процессов тепломассопереноса в винтовом канале дозирующего экструдера для плоской и цилиндрической геметрий канала. Математическое моделирование реализовано в программном комплексе ANSYS.. Представлен сравнительный анализ полей скоростей и температур.

In this paper, a numerical study of heat and mass transfer processes in the metering extruder screw channel is performed. Mathematical modeling is implemented in the software package ANSYS, by means of the finite element method. A numerical study of heat and mass transfer processes for flat and cylindrical model is done. The comparison of the results obtained in these models is presented.

А.В. Казаков, Н.М. Труфанова
ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО СЛОИСТОГО ТЕЧЕНИЯ АНОМАЛЬНО-ВЯЗКИХ ЖИДКОСТЕЙ В КАНАЛАХ КАБЕЛЬНОЙ ГОЛОВКИ

Ключевые слова: многослойное течение, численное моделирование, реология полимеров.

В статье приводится постановка и решение задачи течения разнородных аномально вязких расплавов полимера в каналах кабельной головки, имеющей участки совместного течения. Особенностью расчета является сложная форма каналов, вследствие чего задача решалась в трехмерной постановке.

A.V. Kazakov, N.M. Trufanova
NUMERICAL INVESTIGATION OF THE FLOW OF ABNORMALLY VISCOUS FLUIDS IN CHANNELS OF CABLE DIE

Keywords: stratified flow, numerical simulation, the rheology of polymer.

The paper presents the formulation and solution of the problem of a heterogeneous abnormally viscous polymer melts in channels cable head, which has a joint land flow. Feature of the calculation is a complex form of channels, so that the problem was solved in three-dimensional formulation.

Е.Ю. Навалихина
ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ, ПРОЛОЖЕННЫХ В ПОДЗЕМНОМ КАНАЛЕ

Ключевые слова: температурное поле, нестационарный режим, передаваемая мощность, электрические перегрузки.

В данной работе рассмотрен нестационарный процесс тепломассопереноса в кабельном канале и его численная реализация в двумерной постановке. Приведены полученные температурные поля в кабельном канале. Построены зависимости выхода температуры кабелей на стационарный режим.

E.Yu. Navalikhina
NUMERICAL SIMULATION OF TRANSIENT PROBLEM OF THE CABLE LINES IN AN UNDERGROUND

Keywords: temperature field, transient mode, the transmit power, electrical overload.

In this paper we consider the non-stationary heat and mass transfer process in the cable channel and calculations in the two-dimensional formulation. Shows the obtained temperature fields in the duct. The dependences of the output temperature cables to the stationary regime.

Н.А. Парфентьева, С.В. Труханов, С.А. Паулаускайте
МЕТОД СУПЕРПОЗИЦИИ ПРИ РАСЧЕТАХ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ПОТЕНЦИАЛОВ

Ключевые слова: суперпозиция, потенциал, нестационарный, источник, сток.

В работе рассматриваются возможности применения метода суперпозиции для решения задач об определении полей давлений, концентраций и температуры при наличии в среде источников и стоков. Приводятся частные решения и предлагается упрощенный метод численных решений.

N.A. Parfentyeva, S.V. Truhanov, S.A. Paulauskaite
SUPERPOSITION METHOD AT CALCULATIONS OF NON-STATIONARY POTENTIALS

Keywords: superposition, potential, nonstationary, source, drain

In work possibilities of application of a method of superposition for the solution of tasks on definition of fields of pressure, concentration and temperature are considered at existence in the environment of sources and drains. Private decisions are provided and the simplified method of numerical decisions is offered.

А.И. Самсонов, И.А. Самсонов
ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ПОЛИХРОМАТИЧЕСКОЙ ПИРОМЕТРИИ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Ключевые слова: пирометрия, спектральная яркость излучения, температура, степень черноты.

В работе представлены результаты исследования методов пирометрии, основанных на применении

A.I. Samsonov, I.A. Samsonov
RESEARCH METHODS POLYCHROMATIC PYROMETERS FOR TEMPERATURE MEASUREMENT CONSTRUCTION MATERIALS

Keywords: pyrometry, spectral brightness, temperature, emissivity.

The results of the study methods pyrometry based on the use of one, two and three spectral brightness, in order to measure the temperature with a high instrumental and

одной, двух и трех спектральных яркостей излучения, с целью измерения температуры с высокой инструментальной и методической точностью. Предложен способ коррекции полученной температуры за счет автоматического введения поправок на степень черноты излучения. Приведены результаты оценки погрешностей, полученных на разработанной пирометрической установке.

methodical precision. We propose a method for correcting the resulting temperature by automatically correcting for the emissivity of radiation. The results of the error estimates obtained in developed pyrometric installation.

Е.В. Субботин, Н.М. Труфанова

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕИЗОТЕРМИЧЕСКИХ ТЕЧЕНИЙ В РАБОЧИХ И ОХЛАЖДАЮЩИХ КАНАЛАХ ПЛАСТИЦИРУЮЩЕГО ЭКСТРУДЕРА

Ключевые слова: математическая модель, экструдер, охлаждение.

Предложена математическая модель процессов тепломассопереноса полимеров в каналах пластицирующего экструдера с учетом принудительного охлаждения шнека.

E.V. Subbotin, N.M. Trufanova

MATHEMATICAL MODELING NON-ISOTHERMAL FLOWS IN A WORKING AND COOLING CHANNELS OF PLASTICATING EXTRUDER

Keywords: mathematical model, extruder, cooling.

Mathematical model of heat and mass transfer polymer processes in a channels of plasticating extruder taking into account the forced cooling of screw has been suggested.

В.С. Темников, С.В. Ланкин

ОСОБЕННОСТИ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ЧИСТОГО ГАЛЛИЯ ИЗ ПЕРЕОХЛАЖДЕННОГО СОСТОЯНИЯ

Ключевые слова: анизотропный термоэлемент, калориметр, переохлажденный расплав, скорость кристаллизации.

Предложен новый подход в исследовании кристаллизации веществ из переохлажденной жидкой фазы. Показана возможность получения управляемого перегревом переохлаждения расплава. Получены экспериментальные данные по тепловыделению чистого галлия при различных температурах переохлаждения.

V.S. Temnikov, S.V. Lankin

THE PECULIARITIES OF GA CRYSTALLIZATION UNDER CONSTITUTIONAL SUPERCOOLING

Keywords: anisotropic thermoelement, calorimeter, supercooled melt, crystallization rate.

The authors suggest a new approach to the research of materials crystallization from the supercooled melt. It is declared that the temperature of supercooled liquid can be controlled by the heating over the melting point. The experimental data describing pure Ga heat release under different freezing temperatures was fixed.

А.А. Степачёва, Л.Ж. Никошвили, М.Е. Григорьев, А.В. Быков, Н.В. Лакина, Э.М. Сульман

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОДЕОКСИГЕНИРОВАНИЯ СТЕАРИНОВОЙ КИСЛОТЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ЧАСТИЦ ПАЛЛАДИЯ

Ключевые слова: гидродеоксигенирование, кинетика, биодизель.

Проведено исследование кинетических закономерностей процесса гидродеоксигенирования стеариновой кислоты с использованием наночастиц палладия, импрегнированных в полимерную матрицу сверхсшитого полистирола. Рассчитана кажущаяся энергия активации, определен порядок реакции, а так же представлена кинетическая модель реакции гидродеоксигенирования.

A.A. Stepacheva, L.Zh. Nikoshvili, M.E. Grigorjev, A.V. Bykov, N.V. Lakina, E.M. Sulman

PHYSICO-CHEMICAL INVESTIGATION OF STEARIC ACID HYDRODEOXYGENATION WITH USE OF NANOSTRUCTURED PALLADIUM PARTICLES

Key words: hydrodeoxygenation, activation energy, biodiesel.

The investigation of kinetic laws of stearic acid hydrodeoxygenation process with use of palladium nanoparticles impregnated in polymeric matrix of hypercrosslinked polystyrene was made. The apparent activation energy was calculated. The order of the reaction was determined. The kinetic model of hydrodeoxygenation reaction was presented.

А.И. Акимов

МАТРИЧНЫЙ МЕТОД РЕШЕНИЯ КОМПЛЕКСИРОВАННЫХ ЗАДАЧ ТЕПЛООБМЕНА, МАССООБМЕНА И ТЕРМОНАПРЯЖЕНИЙ В МНОГОСЛОЙНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ С ФАЗОВЫМИ ПЕРЕХОДАМИ

Ключевые слова: композиционные материалы, термонапряжения, градиент массы, фазовые переходы, установки АВТП.

A.I. Akimov

MATRIX METHOD OF THE DECISION THE KOMPLEKSIROVANNYKH OF PROBLEMS OF HEAT EXCHANGE, THE MASS EXCHANGE AND THERMAL STRESSES IN MULTILAYERED DESIGNS WITH PHASE TRANSITIONS

Keywords: composite materials, thermal stresses, weight gradient, phase transitions, AVTP installations.

В работе представлены результаты изучения влияний теплофизических параметров (температура, длительность времени, скорости роста и убывания температуры, фазовые переходы, изменение градиента массы, термонапряжения и технологические напряжения, химическая усадка) на механические свойства композиционных материалов для летательных аппаратов. Приводится матричный метод решения комплексированных задач теплообмена, массообмена и термонапряжений для разработки систем управления производством композиционных материалов в установках автоматического ведения технологического процесса (АВТП).

In work results of studying of influences of heatphysical parameters (temperature, duration of time, growth rate and temperature decrease, phase transitions, change of a gradient of weight, a thermal stress and technological tension, chemical shrinkage) on mechanical properties of composite materials for aircraft are presented. The matrix method of the solution of kompleksirovanny problems of heat exchange, mass exchange and thermal stresses for development of systems of production management of composite materials is given in automatic conducting technological process (ACTP) installations.

В.В. Андреев, Е.В. Тесленко, В.П. Хранилов

ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕМ В САПР

Ключевые слова: интеллектуальная информационная система, САПР, модель, конструктивно-технологические параметры деталей.

Статья посвящена вопросам повышения эффективности проектирования в САПР за счет формализации системы связей на стадии подготовки производства изделий машиностроения. Предложена информационная модель управления конструкторско-технологическим взаимодействием в процессе проектирования деталей, а именно массивом конструктивно-технологических параметров.

V.V. Andreev, E.V. Teslenko, V.P. Hranilov

THE DYNAMIC MODEL OF DESIGN TECHNOLOGYCAL COOPERATION MANAGING IN CAD CAPP SYSTEMS

Keywords: intelligent information system, CAD, CAPP Systems, model, the constructive-technological signs of details.

The article is devoted to improving the effectiveness of the design in CAD, CAPP systems through the relations formalization at the stage of engineering products pre-production. The authors suggest an information model for managing the cooperation of design and technology in the design process, namely an array of structural and technological parameters.

И.А. Анисимов, Л.Н. Буракова, В.Ф. Буторин

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ИСПЫТАНИЙ РАБОТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ АВТОМОБИЛЯ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА РАСХОД ТОПЛИВА

Ключевые слова: расход топлива, климатическая система, холостой ход, цвет автомобиля, мощность двигателя, температура воздуха.

В работе рассматривается влияния температуры окружающего воздуха, цвета кузова и мощности двигателя на расход топлива при работе климатической.

I.A. Anisimov, L.N. Burakova, V.F. Butorin

TEST RESULTS OF USE OF ELECTRIC VEHICLE SYSTEMS AND THEIR IMPACT ON FUEL ECONOMY

Keywords: fuel, air conditioning system, idling, the color of the car, the engine power, the air temperature.

In this paper the influence of the ambient temperature, the color of the body and the engine power to the fuel consumption when operating climate.

А.С. Безгин, Э.Л. Греков

ПРИМЕНЕНИЕ ИНКРЕМЕНТАЛЬНОГО ЭНКОДЕРА КАК ДАТЧИКА СКОРОСТИ В ЦИФРОВЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ЭКСКАВАТОРНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Ключевые слова: датчик скорости, энкодер, цифровая система управления, электропривод, экскаватор.

В статье рассмотрены аспекты выбора энкодера как датчика скорости в цифровых системах управления экскаваторного электропривода переменного тока.

A.S. Bezgin, E.L. Grekov

USING INCREMENTAL ENKODOROV HOW TO SPEED SENSOR IN DIGITAL CONTROL SYSTEMS BACKHOES AC DRIVES

Keywords: speed sensor, encoder, digital control system, electric drive, excavator.

The article deals with aspects of the encoder is selected speed in digital control systems excavator AC drive. Consider the choice of speed sensor the real control system.

В.Ф. Беккер

ВВЕДЕНИЕ МАСШТАБА ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО ПОДОБИЯ В ОПИСАНИЕ ГИДРОДИНАМИКИ ТРЕХФАЗНОГО ПСЕВДООЖИЖЕННОГО СЛОЯ

Ключевые слова: трехфазное псевдоожижение, газожидкостная структура, геометрическое подобие, подвижная насадка.

V.F. Becker

INTRODUCTION SCALE GEOMETRIC SIMILARITY IN THE ABOVE HYDRODINAMICS PHASE FLUIDIZED BED

Keywords: three-phase fluidization gas-liquid structure, geometric similarity, the movable nozzle.

На основе теории локально-изотропной турбулентности и результатов экспериментальных исследований физической модели предложено полуэмпирическое автомодельное описание гидродинамики организуемого в аппаратах с подвижной насадкой трехфазного псевдоожиженного слоя.

Based on the theory of locally isotropic turbulence, and the results of experimental studies of physical models proposed a semi-empirical description of the hydrodynamics of self-organized in devices with mobile attachment phase fluidized bed.

Н.Н. Беспалов, В.П. Глебочкин

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВРЕМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В ТИРИСТОРАХ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ИМПУЛЬСА НАПРЯЖЕНИЯ С ВЫСОКОЙ СКОРОСТЬЮ НАРАСТАНИЯ

Ключевые слова: барьерная ёмкость, ёмкостный ток, вносимый заряд, вольт-фарадная характеристика, критическая скорость нарастания напряжения в закрытом состоянии, силовой тиристор.

Проведено моделирование временных процессов ёмкостного тока через p-базу структуры силового тиристора и вносимого им заряда неосновных носителей при приложении к тиристору напряжения в закрытом состоянии с высокой скоростью нарастания.

N.N. Bespalov, V.P. Glebochkin

MODELING OF TEMPORAL PROCESSES IN THYRISTORS ON EXPOSURE TO OFF-STATE VOLTAGE PULSE WITH A HIGH RATE OF RISE

Keywords: barrier capacitance, capacitive current, carried charge, capacitance-voltage characteristic, critical rate of rise of off-state voltage, power thyristor.

The modeling of temporal processes of capacitive current through the p-base structure of power thyristor and carried charge on exposure to thyristor off-state voltage with a high rate of rise is conducted.

Н.В. Бильфельд

ИДЕНТИФИКАЦИЯ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ОБЪЕКТОВ УПРАВЛЕНИЯ СРЕДСТВАМИ ПАССИВНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Ключевые слова: пассивная идентификация, объект управления, программные модули.

Рассмотрены модули пассивной идентификации пакета по многокритериальному исследованию систем управления. Приведен пример пассивной идентификации. Рассмотрен класс объектов, для которых рассмотренный подход себя оправдывает.

N.V. Bilfeld

IDENTIFICATION OF NON-STATIONARY OBJECTS PASSIVE CONTROL MEANS OF EXPERIMENT

Keywords: passive identification, facility management, program modules.

Considered passive identification modules package on multiple criteria research management systems. An example of passive identification. A class of objects for which the approach considered justified.

П.Д. Блинов

АВТОМАТИЧЕСКОЕ ВЫДЕЛЕНИЕ ИМЕНОВАННЫХ СУЩНОСТЕЙ В РУССКОЯЗЫЧНЫХ ТЕКСТАХ

Ключевые слова: машинное обучение, именованные сущности, метод максимизации энтропии, метод опорных векторов.

В статье изложено решение задачи выделения именованных сущностей новостного домена с помощью методов максимизации энтропии и опорных векторов. Приведено краткое описание общих подходов к решению задачи извлечения информации. Указаны характеристики и формат разметки текстового корпуса, замечания о способах оценки качества работы систем выделения именованных сущностей. Приводится вариант признакового пространства для решения указанной задачи и результаты работы исследуемых методов на размеченном тестовом корпусе.

P.D. Blinov

AUTOMATIC NAMED ENTITY RECOGNITION IN THE RUSSIAN TEXT

Keywords: machine learning, named entity, maximum entropy model, support vector machines.

The solution of named entity recognition task for news domain with the help of such method as maximum entropy model and support vector machines is described in the article. A brief overview of general approaches to the problem of information extraction is given. Characteristics and markup format of the corpus are specified, a few notes about the evaluation of named entity recognition systems are given. One version of the feature space for solving the problem is suggested and the results of the investigated methods on the marked up text corpus are given.

А.П. Буйносов, Д.К. Зенович

АНАЛИЗ ПРИЧИН ОТКАЗОВ ОСЕЙ КОЛЕСНЫХ ПАР ЭЛЕКТРОВОЗОВ

Ключевые слова: электровоз, колесная пара, ось, анализ, отказ, причины.

A.P. Buinosov, D.K. Zenovich

ANALYSIS OF CAUSES OF FAILURES OF AXES OF WHEEL COUPLES OF ELECTRIC LOCOMOTIVES

Key words: electric locomotive, wheelpair, shaft, analysis, refusal, reasons.

В статье приводится анализ отказов осей колесных пар грузовых электровозов постоянного тока, причины и факторы возникновения отказов приводящих к браковке осей.

The analysis of refusals of shafts of wheelpairs of cargo electric locomotives of direct current, the reason and factors of emergence of refusals of shafts bringing to rejection is provided in article.

А.П. Буйносов, Д.К. Зенович
ВЫБОР СПОСОБА ВОССТАНОВЛЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ОСЕЙ КОЛЕСНЫХ ПАР ЭЛЕКТРОВОЗОВ
Ключевые слова: электровоз, колесная пара, ось, работоспособность, восстановление.

В статье проанализированы способы восстановления работоспособности осей колесных пар грузовых электровозов постоянного тока которые можно использовать в ремонтных локомотивных депо.

A.P. Buinosov, D.K. Zenovich
CHOICE OF THE MODE OF RESTORATION OF OPERABILITY OF SHAFTS OF WHEELPAIRS OF ELECTRIC LOCOMOTIVES
Key words: electric locomotive, wheelpair, shaft, working capacity, restoration.

In article modes of restoration of operability of shafts of wheelpairs of cargo electric locomotives of direct current which can be used in repair locomotive depots are analysed.

А.П. Буйносов, А.М. Кислицын
КОМПЛЕКСНАЯ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА КОЛЕСНЫХ ПАР ЭЛЕКТРОВОЗОВ В ДЕПО
Ключевые слова: электровоз, колесная пара, депо, техническое обслуживание, ремонт, измерительная система.

В статье описана комплексная автоматическая информационно-измерительная система технического обслуживания и ремонта на основе использования бесконтактных и контактных методов измерения параметров колесных пар электровоза.

A.P. Buinosov, A.M. Kislitsyn
COMPLEX INFORMATION MEASURING SYSTEM OF MAINTENANCE AND REPAIR OF WHEEL COUPLES OF ELECTRIC LOCOMOTIVES IN DEPOT
Key words: electric locomotive, wheel couple, depot, maintenance, repair, measuring system.

In article the end-to-end automatic information measuring system of maintenance and repair on the basis of use of non-contact and contact methods of measurement of parameters of wheel couples of electric locomotive is described.

А.П. Буйносов, И.М. Пышный, В.А. Тихонов
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИЗНАШИВАНИЯ БАНДАЖЕЙ КОЛЕСНЫХ ПАР ЭЛЕКТРОВОЗА
Ключевые слова: электровоз, колесная пара, бандаж, моделирование, ТС НАП, износ.

Представлены результаты моделирования процесса изнашивания бандажей колесных пар промышленного электровоза ПЭ2^{М} при наличии в зоне контакта пары «колесо–рельс» триботехнического состава НАП. Расчеты произведены в среде программного комплекса численного интегрирования уравнений движения «Универсальный механизм».

A.P. Buinosov, I.M. Pishniy, V.A. Tikhonov
MATHEMATICAL MODELLING OF PROCESS OF WEAR OF BANDAGES OF WHEEL COUPLES OF ELECTRIC LOCOMOTIVE
Key words: electric locomotive, wheel couple, bandage, modeling, NAP HARDWARE, wear.

Results of modeling of process of wear of bandages of wheel couples of industrial electric locomotive of PE2M in the presence in a contact zone wheel rail vapors of tribotechnical structure of NAP are presented. Calculations are made in the environment of a program complex of numerical integration of the equations of the movement «Universal Mechanism».

А.П. Буйносов, Н.Г. Фетисова
ВЛИЯНИЕ МАТЕРИАЛА НА ИЗНОС БАНДАЖЕЙ КОЛЕСНЫХ ПАР ЭЛЕКТРОВОЗОВ И РЕЛЬСОВ
Ключевые слова: электровоз, колесная пара, бандаж, рельс, износ, материал, твердость, влияние.

В статье выполнен анализ важнейшей характеристики материала бандажей колесных пар электровозов и рельсов – соотношение значений их твердости, приводятся результаты экспериментальных исследований износа пары «бандаж–рельс» при переходе на новый тип рельсов (Р65).

A.P. Buinosov, N.G. Fetisova
INFLUENCE OF THE MATERIAL ON WEAR OF BANDAGES OF WHEEL COUPLES OF ELECTRIC LOCOMOTIVES AND RAILS
Key words: electric locomotive, wheel couple, bandage, rail, wear, material, hardness, influence.

In article the analysis of the major characteristic of a material of bandages of wheel couples of electric locomotives and rails – a ratio of values of their hardness is made, results of pilot studies of wear bandage rail vapors are given upon transition to new type of rails (P65).

А.В. Варенцов, С.М. Дмитриев, А.А. Добров, Д.Н. Солнцев, А.Е. Хробостов

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ И РАСЧЕТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГИДРОДИНАМИКИ И МАССООБМЕНА ПОТОКА ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В МОДЕЛИ ТВС РЕАКТОРА КЛТ-40С

Ключевые слова: ядерный реактор, тепловыделяющая сборка, гидродинамика и массообмен теплоносителя, дистанционирующая решетка.

В работе представлены результаты и анализ экспериментальных и расчетных данных по исследованию локальных гидродинамических характеристик и межканального массообмена потока теплоносителя в модели ТВС реакторной установки плавучей атомной электростанции.

A.V. Varentsov, S.M. Dmitriev, A.A. Dobrov, D.N. Solntsev, A.E. Khrobostov

EXPERIMENTAL AND NUMERICAL RESEARCHES OF HYDRODYNAMICS AND MASS TRANSFER OF COOLANT FLOW IN EXPERIMENTAL MODEL OF KLT-40S REACTOR FUEL ASSEMBLY

Keywords: nuclear reactor, fuel assembly, coolant flow hydrodynamics, spacer grid.

This paper presents the results of experimental and numerical researches of local mass transfer and hydrodynamic characteristics of coolant flow in experimental model of fuel assembly for reactor of floating nuclear power plant.

В.Г. Гагарин, В.В. Козлов, К.И. Лушин, П.П. Пастушков

К ВОПРОСУ О ПРИМЕНЕНИИ ВЕТРОГИДРОЗАЩИТНЫХ МЕМБРАН В НАВЕСНЫХ ФАСАДНЫХ СИСТЕМАХ С ВЕНТИЛИРУЕМОЙ ВОЗДУШНОЙ ПРОСЛОЙКОЙ

Ключевые слова: навесные фасадные системы, вентилируемая воздушная прослойка, ветрогидрозащитная мембрана, эмиссия волокон из минеральной ваты, продольная фильтрация воздуха.

Проанализированы варианты устройства навесных фасадных систем (НФС) без применения ветрозощитных мембран. Предложены альтернативные способы достижения положительного эффекта применения волокнистого утеплителя в подобных конструкциях.

V.G. Gagarin, V.V. Kozlov, K.I. Lushin, P.P. Pastushkov

ABOUT THE USE OF A WIND AND HYDROPROTECTIVE MEMBRANES IN HINGED FACADE SYSTEMS WITH A VENTILATED LAYER

Keywords: the hinged Facade systems, a ventilated air layer, a wind- hydroprotective membrane, emission of fibres from mineral wool, a filtration of air.

Positive and negative sides of application of a wind-hydroprotective membranes in hinged facade systems basically from the view point of building thermophysics are analysed. Conditions are specified at which it is necessary to carry out installation of systems without wind-shelter membranes. In particular, significant emission of fibres should be excluded from mineral wool and influence of a filtration on heat-performance properties of system is lowered.

С.Н. Голышев, С.Н. Ермаков, С.Н. Семёнов

ВЫКИДНОЙ ТРУБОПРОВОД С ТЕПЛОИЗОЛЯЦИЕЙ ДЛЯ ТРАНСПОРТИРОВКИ НЕФТЕПРОДУКТОВ

Ключевые слова: полимерно-армированная труба, выкидная линия, трубопровод, наконечник, теплоизоляция.

В статье предложено решение проблемы, связанной с транспортировкой нефти по выкидным трубопроводам на кусте при низких значениях температуры окружающей среды. Рассмотрены существующие конструкции выкидных трубопроводов и теплоизолирующие материалы, используемые в них.

S.N. Golyshev, S.N. Ermakov, S.N. Semyonov

DISCHARGE PIPELINE WITH THERMAL INSULATION FOR OIL PRODUCTS TRANSPORTATION

Keywords: polymer-reinforced pipe, discharge pipeline, pipeline, connection element, thermal insulation.

The solution of the problem related to the transportation of oil products through discharge pipelines in the presence of several wells located nearbyat low ambient temperatures is offered. The designs of the existing discharge pipelines and insulation materials used in them are considered.

С.Н. Голышев, С.Н. Ермаков, С.Н. Семёнов

СОЕДИНИТЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ДЛЯ ГИБКИХ ПОЛИМЕРНО-АРМИРОВАННЫХ ТРУБ

Ключевые слова: соединительный элемент, наконечник, полимерно-армированная труба.

В статье рассмотрены конструкции существующих соединительных элементов для гибких полимерно-армированных труб. Выявлены и проанализированы недостатки этих конструкций.
Предложено конструктивное решение, обеспечивающее высокие требования герметичности, надёжности, а также способность воспринимать большие осевые нагрузки.

S.N. Golyshev, S.N. Yermakov, S.N. Semyonov

CONNECTION ELEMENTS FOR FLEXIBLE POLYMER-REINFORCED PIPES

Keywords: connection element, polymer-reinforced pipe.

The designs of existing connection elements for flexible polymer-reinforced pipes are considered. The drawbacks of these designs are revealed and analysed.
A constructive decision meeting high requirements to leak-proofness, reliability, as well as to ability to withstand heavy axial loads is offered.

Д.А. Давыдов, П.С. Манылов

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ NOSQL-СУБД

Ключевые слова: NoSQL, СУБД.

В настоящей статье описаны результаты исследования сравнительно нового течения в области систем управления базами данных - так называемые NoSQL-СУБД. Описано, что включает в себя это течение, предпосылки к его появлению, текущее состояние, прогноз на будущее. Исследование проведено с целью определения перспективных направлений разработок в области СУБД.

D.A. Davydov, P.S. Manylov

EVOLUTION OF NOSQL

Key words: NoSQL, database.

Here we study different kinds of NoSQL databases trying to predict the future their evolution.

Д.А. Еделев, М.Г. Сульман, А.И. Сидоров, Е.В. Ожимкова, Б.Б. Тихонов, В.Ю. Долуда, Э.М. Сульман, Г.Ю. Рабинович

ВОЗМОЖНЫЕ ПУТИ БИОКОНВЕРСИИ САПОНИНСОДЕРЖАЩИХ РАСТИТЕЛЬНЫХ ОТХОДОВ

Ключевые слова: сапонины, Saponaria officinalis, биоконверсия, растительные отходы.

В статье изучена возможность проведения биокаталитической утилизации органических отходов производства сапонинов из корня Saponaria officinalis. Практическое использование этого процесса позволит обеспечить переработку отходов с получением ценных продуктов, в первую очередь - удобрений.

D.A. Edelev, M.G. Sulman, A.I. Sidorov, E.V. Ozhimkova, B.B. Tikhonov, V.Yu. Doluda, E.M. Sulman, G.Yu. Rabinovich

POSSIBLE WAYS OF BIOCONVERSION OF SAPONIN-CONTAINING PLANT WASTE

Keywords: saponins, Saponaria officinalis, bioconversion, plant waste.

In this paper the possibility of biocatalytic utilization of organic waste of saponin production from Saponaria officinalis is studied. Practical use of this process allows to provide processing of waste with receiving valuable products, first of all - fertilizers.

А.М. Игнатова, О.Ю. Шешуков, В.Ф. Балакирев

АНАЛИЗ, ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СЫРЬЕВОГО И МАТЕРИАЛЬНОГО ПОТЕНЦИАЛА ТЕХНОГЕННЫХ ОБРАЗОВАНИЙ ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ ПРИ ИННОВАЦИОННОМ ПОДХОДЕ К ИХ УПРАВЛЕНИЮ И ПЕТРУРГИЧЕСКОМУ РЕЦИКЛИНГУ

Ключевые слова: Петрургия, рециклинг, вторичная металлургия, каменное литье, силикатный расплав, минеральное сырье, техногенное сырье, доменный шлак.

В статье содержатся сведения по анализу перспектив в области переработки вторичных сырьевых материалов металлургии, новые методы переработки и сделаны выводы о принятие мер по развитию данной отрасли.

A.M. Ignatova, O.U. Shehukov, V.F. Balakirev

ANALYSIS, PROBLEMS AND PROSPECTS OF RAW MATERIALS AND BUILDING MATERIAL TECHNOGENIC MINING INDUSTRY WITH INNOVATIVE APPROACH TO THEIR MANAGEMENT AND RECYCLING PETRURGICAL

Keywords: Petrurgiya, recycling, secondary metallurgy, stone molding, silicate melt, minerals, man-made materials, blast furnace slag.

This article contains information on the analysis of the outlook for the processing of secondary raw materials metallurgy, new methods for processing and draw conclusions about the adoption of measures for the development of the industry.

А.М. Игнатова, О.Ю. Шешуков, В.Ф. Балакирев

СИСТЕМАТИЗАЦИЯ И КЛАССИФИКАЦИЯ ТЕХНОГЕННЫХ ОБРАЗОВАНИЙ УРАЛЬСКОГО ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА С ПОЗИЦИЙ ИХ ПЕТРУРГИЧЕСКОГО РЕЦИКЛИНГА

Ключевые слова: Петрургия, рециклинг, вторичная металлургия, каменное литье, силикатный расплав, минеральное сырье, техногенное сырье, доменный шлак, сталеплавильный шлак, базальт.

Представлены сведения о номенклатуре техногенных образований Уральской горно-металлургической промышленности и дополнение их классификации с точки зрения их химического и минералогического

A.M. Ignatova, O.U. Shehukov, V.F. Balakirev

SYSTEMATIZATION AND CLASSIFICATION TECHNOGENIC URAL MINING AND METALLURGICAL COMPLEX FROM THE POINT OF RECYCLING PETRURGICAL

Keywords: Petrurgiya, recycling, secondary metallurgy, stone molding, silicate melt, minerals, man-made materials, blast furnace slag, steel slag, basalt.

Provides information about the range of man-made structures of the Ural Mining and Metallurgical Industry and the addition of their classification in terms of their chemical and mineralogical compositions allow highly positively evaluate the prospects of using petrurgical

составов позволяют в высшей степени положительно оценить перспективность использования петрургических методов рециклинга для экономического и производственного развития предприятий.

recycling methods for the economic and industrial development of enterprises.

П.Б. Каган, Т.А. Барабанова

ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФОРМАЛЬНЫХ ЯЗЫКОВ

Ключевые слова: автоматизация проектирования, технологические карты, формальные языки.

Рассматривается проблема описания технологических процессов в строительстве с помощью формальных языков.

P.B. Kagan, T.A. Barabanova

DESCRIPTION OF PROCESS IN CONSTRUCTION ON THE BASIS OF FORMAL LANGUAGES

Keywords: CAD-systems, process cards, formal languages

The problem of describing the process in construction with the help of formal languages.

А.В. Ключников, Е.Ф. Михайлов, М.С. Чертков

ДИАГНОСТИКА ХАРАКТЕРИСТИК АСИММЕТРИИ МАСС СКОРОСТНЫХ ЛА МЕТОДОМ ДИНАМИЧЕСКОЙ БАЛАНСИРОВКИ

Ключевые слова: ротор, центр масс, ось инерции, дисбаланс, измерение.

В статье представлены результаты работ по созданию на основе применения методов и средств динамической балансировки методики обнаружения наличия и определения значений параметров, характеризующих асимметричность в распределении масс высокоскоростных летательных аппаратов, с целью их последующего уравновешивания.

A.V. Klyuchnikov, E.F. Mikhailov, M.S. Chertkov

EXECUTION OF DIAGNOSTICS OF HIGH-SPEED FLYING VEHICLES' MASS-INERTIA ASYMMETRY CHARACTERISTICS WITH USE OF THE METHOD OF DYNAMIC COUNTERBALANCING

Keywords: rotor, mass centre, axis of inertia, disbalance, measure

This paper presents the results in generation of methodology for detection and measuring high-speed flying vehicles' mass-inertia parameters. Parameter dimensions are used for balancing adjustment of vehicles. The methodology is based on using of methods and means of dynamic counterbalancing.

Л.А. Ковригин, И.Б. Кухарчук

УПРАВЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫМ ПОЛЕМ НЕФТЯНОЙ СКВАЖИНЫ С ПАРАФИНОВЫМИ ОТЛОЖЕНИЯМИ В УСЛОВИЯХ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ

Ключевые слова: нефтяная скважина, парафиновые отложения, нагревательный кабель, управление температурным полем скважины.

В работе представлены результаты изучения температурного поля нефтяной скважины осложненной парафиновыми отложениями в условиях вечной мерзлоты, рассчитаны режимы работы греющего кабеля с учетом дебита, величины тока нагрева и времени его воздействия. Установлено, что для районов вечной мерзлоты в системе автоматического управления нефтяной скважиной мощность, подводимая к нагревательному кабелю для удаления парафиновых отложений, должна быть в 1,3 раза больше, чем для средней полосы России.

L.A. Kovrigin, I.B. Kuharchuk

THERMAL FIELD CONTROL AT OIL WELL WITH PARAFFIN PRECIPITATIONS IN THE PERMAFROST

Keywords: oil well, paraffin precipitations, the heating cable, the oil well thermal field control.

This paper presents the results of the study of the temperature field of oil wells complicated paraffin deposits in permafrost conditions, the modes of heating cable with the production rate, the value of the heating current and the time of exposure are calculated. It is found that in areas of permafrost at the automatic control system of the oil well power supplied to the heating cable to remove paraffin deposits should be 1.3 times greater than for central Russia.

В.А. Корчагин

НЕЙРОСЕТЕВОЙ ПОДХОД В ФОРМИРОВАНИИ РАЦИОНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ ЯМЗ-238 ПО ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ МАРШРУТАМ РЕМОНТА

Ключевые слова: дефекты агрегатов, двигатели ЯМЗ, ремонт "по состоянию", искусственная нейронная сеть.

V.A. Korchagin

THE NEURAL NETWORK APPROACH IN THE FORMATION OF RATIONAL DISTRIBUTION SYSTEM OF YAMZ-238 ENGINES ON TECHNOLOGICAL REPAIR ROUTES

Keywords: defects of units, engines of YAMZ, "on-condition" repair, artificial neural network.

В данной статье представлены результаты экспериментальных исследований, проводимые с целью обоснования адекватности разработанной методики распределения агрегатов автомобилей по технологическим маршрутам ремонта, в зависимости от выявленных сочетаний дефектов, с использованием искусственной нейронной сети при централизованном ремонте по техническому состоянию.

This article represents the results of the experimental investigations, which were made for justification of adequacy of the developed method of vehicles' units distribution in consideration of technological routes repair, depending on identified combinations of defects, with the usage of artificial neural network during centralized "on condition" repair.

А.А. Коряжкин, Д.И. Волков

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ АДАПТИВНОГО ЛЕНТОЧНОГО ШЛИФОВАНИЯ ЗА СЧЕТ ПРОГРАММИРУЕМОГО УПРАВЛЕНИЯ УСЛОВИЯМИ ОБРАБОТКИ

Ключевые слова: ленточное шлифование, модель режущего инстумента, модель обработанной поверхности.

Рассматриваются особенности адаптивного ленточного шлифования лопаток ГТД на станках с ЧПУ. Приведены математические зависимости для получения профиля обработанной поверхности. Достигнуто повышение точности обработки при сохранении требуемого качества поверхностного слоя.

A.A. Koryazhkin, D.I. Volkov

IMPROVING THE EFFICIENCY OF ADAPTIVE BELT GRINDING BY PROGRAMMABLE CONTROL OF PROCESSING CONDITIONS

Keywords: belt grinding, model cutting instumenty, model of machined surfaces.

The features of adaptive belt grinding turbine engine blades for CNC machines. Mathematical formulas for the profile of the machined surface. Achieved by improving the accuracy of processing, while maintaining the required quality of the surface layer.

А.Г. Кривич, Г.П. Жигулин

ГРАФИЧЕСКИЙ МЕТОД ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ

Ключевые слова: социальная инженерия, защита информации, цветность.

В работе представлен новый способ защиты информации, который сочетает в себе принципы программной защиты, а также социальной инженерии, что позволяет защищать информацию, как от предумышленной кражи, так и от случайных утечек.

A.K. Krivich, G.P. Zhigulin

GRAPHICAL METHOD FOR PROTECTING DATA

Keywords: social engineering, data protection, chromaticity.

The article presents a new method for protecting information that combines the principles of software protection, as well as social engineering that allows you to protect the information from both the deliberate theft and accidental leaks.

Т.А. Кузнецова, Е.А. Кулютникова, А.А. Рябуха

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ДИНАМИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ МЕТОДОМ ПРОСТРАНСТВА СОСТОЯНИЙ

Ключевые слова: математическое моделирование, переходные процессы, идентификация характеристик, пространство состояний, матрицы связи.

В работе рассмотрена модификация метода пространства состояний для расчета переходных процессов в электрических цепях высоких порядков. Представлена методика идентификации цепи путем получения матриц связи с использованием резистивных схем замещения с источниками единичных воздействий.

T.A. Kuznetsova, E.A. Kulyutnikova, A.A. Ryabuha

THE IDENTIFICATION OF THE ELECTRICAL CIRCUIT IN DYNAMIC CONDITIONS MODELING BY STATE SPACE METHOD

Keywords: mathematical modeling, dynamic conditions, the identification of the characteristics, state space, the state (connection) matrix.

The modification of the state space method for the analysis of dynamic conditions in electrical circuits of higher orders was considered. The technology of electrical circuits identifying by obtaining of state (connection) matrix by using of resistive circuits with single source of influence.

Т.А. Кузнецова, П.В. Репп, В.Г. Кузнецов

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ CISCO UNIFIED WIRELESS NETWORK ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ КОРПОРАТИВНЫХ СЕТЕЙ

Ключевые слова: корпоративные сети, беспроводные сети, безопасность, аутентификация, точка доступа (ТД), централизация.

T.A. Kuznetsova, P.V. Repp, V.G. Kuznetsov

APPLICATION OF CISCO UNIFIED WIRELESS NETWORK TECHNOLOGY FOR CORPORATE NETWORKS SECURITY

Keywords: enterprise networks, Wi-Fi, security, authentication, access point, centralization.

В статье рассмотрены особенности внедрения технологии Cisco Unified Wireless Network для развертывания беспроводных корпоративных сетей. Приведены характеристики сетей WLAN. Анализируется безопасность корпоративных беспроводных сетей на базе протокола 802.1X.

This article describes the Cisco Unified Wireless Network technology implementation for Wireless Enterprise Networks design. The WLAN are characterized. The security of Wireless Networks based on the 802.1X protocol is analyzed.

А.Е. Лысенков, Н.Н. Беспалов

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОВОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ СИЛОВЫХ МДП-ТРАНЗИСТОРОВ С ИНДУЦИРОВАННЫМ КАНАЛОМ

Ключевые слова: МДП-транзистор, тепловое сопротивление, термочувствительные параметры.

В статье рассматривается методика определения теплового сопротивления переход-корпус МДП-транзисторов с индуцированным каналом. Предложено использовать в качестве термочувствительного параметра напряжение сток—исток. Описан процесс калибровки температурной зависимости данного параметра.

A.E. Lysenkov, N.N. Bespalov

METHOD OF DETERMINING THERMAL RESISTANCE OF POWER MOSFETS

Keywords: MOSFET, thermal resistance, temperature sensitive parameters.

The article considers method of determining steady-state thermal resistance of power MOSFETs. Proposed using drain-source voltage as a temperature sensitive parameter. Described process of temperature dependence calibration of this parameter.

Ф.Н. Мирсаитов, Л.А. Гимадеева, В.В. Болознев

СПЕКТР ПРИ РАДИОВОЛНОВОЙ ВИБРОДИАГНОСТИКЕ РОТОРА ГАЗОТУРБИННОГО АВИАДВИГАТЕЛЯ

Ключевые слова: турбина, лопатка, виброспектр, диагностический отклик.

Найдены радиочастотный, рабочий (эталонный) и вибрационный спектры отклика при радиоволновом зондировании лопаток турбины высокого давления. Установлены диагностические возможности радиоволнового метода.

F.N. Mirsaitov, L.A. Gimadeyeva, V.V. Boloznev

SPECTRUM IN RADIO WAVE VIBRATION DIAGNOSTICS OF GAS-TURBINE AIRCRAFT ENGINES ROTOR

Keywords: turbine blade, vibration spectrum, diagnostic response

Herein, RF, reference and the vibration response spectra for radio frequency probing of high-pressure turbine blades are found. The diagnostic capabilities of radio-wave method are established.

Ф.Н. Мирсаитов, С.С. Сулейманов, В.В. Болознев

СПОСОБ РАДИОВОЛНОВОЙ ВИБРОДИАГНОСТИКИ РОТОРА ГАЗОТУРБИННОГО АВИАДВИГАТЕЛЯ

Ключевые слова: функциональная диагностика, газотурбинный двигатель, радиоволновой метод.

Способ включает возбуждение электромагнитного поля в окрестности диагностируемого узла ротора. Установлена зависимость электрических параметров антенны, возбуждающее поле, от виброперемещений деталей ротора – лопаток компрессора или турбины.

F.N. Mirsaitov, S.S. Suleymanov, V.V. Boloznev

METHOD OF GAS-TURBINE ROTOR RADIO WAVE VIBRATION DIAGNOSTICS OF AIRCRAFT ENGINES

Keywords: on-board flight diagnostics, gas turbine engine, radiowave method

The method involves excitation of electromagnetic field in the vicinity of diagnosed rotor assembly. Dependence of electrical parameters of the antenna, exciting EM field, from the vibrating rotor parts – blades of the compressor or turbine has been established.

В.Л. Мондрус, В.А. Смирнов

ПРИМЕНЕНИЕ КЭ-МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ КОЛЕБАНИЙ ОТ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ МЕТРОПОЛИТЕНА

Ключевые слова: вибрация, точное оборудование, МКЭ, распространение волн, слоистый грунт.

В работе представлены результаты численного моделирования процесса распространения колебаний в грунте, вызванных движением поездов метрополитена в туннеле неглубокого заложения. Целевым объектом исследования является расположенное в 25 метрах от оси туннеля здание

V.L. Mondrus, V.A. Smirnov

FINITE ELEMENT MODELING OF WAVE PROPAGATION FROM UNDERGROUND TRAIN TRAFFIC IN SHALLOW BURIAL TUNNELS

Keywords: vibrations, precision equipment, FEM, stratified soil, wave propagation.

The paper presents the result of FE study of wave propagation in stratified soil, caused by underground train traffic in shallow burial tunnels. The aim of the research is located 25 m away from the tunnel axis workshop, in which precision equipment is placed. Results that are obtained in this study allow us to determine the best location for equipment installation as

цеха точного оборудования. Полученные в работе результаты позволяют определить места установки оборудования, а также необходимые требования, предъявляемые к конструкции здания для обеспечения требуемого вибрационного режима.

well as requirements for the structure rigidity to ensure the desired vibrations levels.

А.А. Морозенко

РЕФЛЕКСНО-АДАПТИВНАЯ МОДЕЛЬ ОРГАНИЗАЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ ИНВЕСТИЦИОННО-СТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОЕКТОВ

Ключевые слова: рефлексно-адаптивная организационная структура, инвестиционно-строительных проект, факторы гибкости предприятия, блок-процессы, устойчивость ИСП.

В статье представлен анализ современных организационных структур строительных предприятий экономически развитых стран. Разработан алгоритм формирования внутрисистемных связей инвестиционно-строительных проектов (ИСП). Разработана и обоснована рефлексно-адаптивная модель организационной структуры ИСП.

A.A. Morozenko

REFLEX ADAPTIVE MODEL OF ORGANIZATIONAL STRUCTURE OF INVESTMENT CONSTRUCTION PROJECTS

Key words: reflex adaptive organizational structure, investment construction project, flexibility factors of company, block processes, stability of investment construction project, cybernetic model of construction company.

The article presents the analysis of organizational structures of construction companies of economically developed countries. The algorithm of forming the intrasystem communication of investment construction projects is worked out. Reflex adaptive model of organizational structure of investment construction projects is worked out and established.

С.В. Мурадов, С.В. Рогатых

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РАСТВОРОВ ЛЕЧЕБНОЙ ГРЯЗИ И ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ПЕЛОИДНЫХ ПРЕПАРАТОВ

Ключевые слова: лечебная грязь, пелоид, препарат, раствор, экстракт, механическая активация.

В работе представлены результаты изучения физико-химических свойств лечебной грязи оз.Утиное Паратунского курорта Камчатского края, инкубированной в грязехранилище. Полученные данные по содержанию пигментов, гуминовых и фульвокислот, аминокислот, белковых веществ, полисахаридов, фенолов и нефтепродуктов значительно дополняют имеющиеся данные. Сформулированы рекомендации к получению пелоидных препаратов.

S.V. Muradov, S.V. Rogatykh

PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF THERAPEUTIC MUD SOLUTIONS AND BASEMENTS OF GETTING PELOID PREPARATIONS TECHNOLOGY

Keywords: therapeutic mud, peloid, preparation, solution, extract, mechanical activation.

The results of study of physicochemical properties of therapeutic mud from Utinoye lake of Paratunka health resort of Kamchatsky area, Incubated in the mud collector are presented in this paper. The data about contents of pigment, peloid, gumin and fulvoacids, amino acids, protein substances, polysaccharides, phenols and oil products was significantly complemented by data we have got in this paper. The recommendations for peloid preparations getting were established.

А.Е. Насонова

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОЛОГИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ К ПРОЦЕССУ МОДЕЛИРОВАНИЯ СВОЙСТВ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Ключевые слова: экологическая оценка строительных материалов, каустический магнезит, сухая смесь, добавка, водостойкость.

В работе обосновывается важность экологической оценки строительных материалов. Предлагается проводить экологическую оценку модифицирующих добавок. Приводятся данные о водостойкости изделий на основе каустического магнезита с различными модифицирующими добавками.

A.E. Nasonova

APPLICATION OF METHODOLOGY OF THE ECOLOGICAL ASSESSMENT TO PROCESS OF MODELLING OF PROPERTIES OF CONSTRUCTION MATERIALS

Keywords: ecological assessment of construction materials, magnesium binding materials, cement, additive

Importance of an ecological assessment of construction materials dedicated. It is offered to carry out an ecological appraisal of modifying additives. Data on water resistance of products on the basis of magnesium binding with various modifying additives are provided.

В.Ю. Носков, А.В. Пономарев, Е.А. Гой, А.В. Костромин

ГЕОБАЛАНСИРОВКА НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТСР ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

V.Y. Noskov, A.V. Ponomarev, E.A. Goy, A.V. Kostromin

GEOBALANCING ON THE BASIS OF THE ANALYSIS OF TEMPORARY CHARACTERISTICS TCP INTERACTION

Ключевые слова: геобалансировка, облачные системы, системы доставки контента.

В работе представлены результаты работы по исследованию существующих проблем балансировки нагрузки между ЦОД в облачных вычислительных системах. Предложено и описано решение, позволяющее достигнуть распределения нагрузки, с минимальным временем доступа пользователей до ресурсов.

SaaS, CDN, geobalance, cloud service.

The article presents the results of work on the study of existing problems of load balancing between data centers to cloud computing systems. Proposed and described a new solution to achieve better load distribution.

О.И. Поддаева

ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗОН РАЗМЕЩЕНИЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК В ЗАСТРОЙКЕ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ АНАЛИЗА КЛИМАТА И ФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Ключевые слова: Ветровой режим, физическое моделирование, микроклимат, ветроэнергетическая установка, ветрогенерато.

Настоящая статья выполнена с целью выявления перспективных зон размещения ветроэнергетических установок в городской застройке. Проведен анализ погодных условий и климатических явлений города Москва. Публикация выполнена в рамках ГК 16.552.11.7064 от 13.07.2012 г.

O.I. Poddaeva

BASIC PRINCIPLES OF DISTRIBUTION AREA LOCATION WIND TURBINES IN THE BUILDING ON THE ANALYSIS OF CLIMATE AND PHYSICAL MODELING

Key words: Wind regime, wind conditions, physical modeling, climate, wind power plant, wind generator.

This article is made to identify promising areas of placement of wind turbines in urban areas. Analysis of weather and climate phenomena Moscow. Publication is made in the framework of GC 16.552.11.7064, 13.07.2012.

С.Л. Проскуряков, А.Н. Рыкунов

МОДЕЛЬ ЗОНЫ РЕЗАНИЯ С УЧЕТОМ ЦИКЛИЧНОСТИ ПРОЦЕССОВ ТРЕНИЯ В ЗОНЕ СТРУЖКООБРАЗОВАНИЯ

Ключевые слова: точение, модель стружкообразования, циклический характер процессов трения.

Экспериментально и теоретически установлено, что при высоких скоростях резания в зоне стружкообразования происходят процессы трения, имеющие циклический характер. Представлена модель зоны резания, учитывающая это явление. Получены математические зависимости для определения основных параметров элемента стружки и времени его образования.

S.L. Proskuryakov, A.N. Rykunov

MODEL TOOL ZONE IN VIEW OF RECURRENCE OF PROCESSES OF FRICTION IN ZONE CHIP FORMATION

Keywords: turning, model of chip formation, cyclic character of processes of friction.

Experimentally also it is theoretically ascertainment, that at high speeds of cutting in a zone of chip formation there are the processes of formation having cyclic character. The model of a cutting zone considering this phenomenon is presented. Mathematical dependences for definition of basic parameters of an element of chip and time of its formation are received.

Т.В. Прохорова

ИССЛЕДОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК В УСЛОВИЯХ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ

Ключевые слова: Ветрогенератор, ветротурбина, ветроэнергетическая установка, ветроэнергетический потенциал.

Представлены характерные примеры зданий, использующие ветротурбины и ветрогенераторы как часть собственной конструкции. Выявлена необходимость комплексного внедрения ветроэнергетических установок с учетом градостроительной ситуации. Публикация выполнена в рамках ГК 16.552.11.7064 от 13.07.2012 г.

T.V. Prokhorova

STUDIES ON THE USE OF WIND TURBINES IN URBAN AREAS

Key words: Wind generator, wind turbine, wind power installation, wind power potential.

The article presents characteristic and examples of buildings that use wind turbines and wind turbines as part of its own design. Identified the need for a holistic implementation of small wind turbines with the urban situation. Publication is made in the framework of GC 16.552.11.7064, 13.07.2012.

М.А. Пыльцин

РАСЧЕТ «УПРОЩЕННЫМИ» МЕТОДАМИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ, ИСПЫТЫВАЮЩИХ СЖАТИЕ С ИЗГИБОМ В ДВУХ ПЛОСКОСТЯХ, В СООТВЕТСТВИИ С ЕС2 И СП 52-101-2003

Ключевые слова: расчет колонн, метод предельных усилий, сжатие с двухосным изгибом, деформационная модель, ЕС2, EN 1992.

В статье выполнено сравнение «ручных» методов расчета железобетонных элементов, испытывающих сжатие с двухосным изгибом, в соответствии с пособием к СП 52-101, ЕС2 и деформационной моделью (по СП 52-101).

M.A. Pyl'tsyn

"SIMPLIFIED" ANALYSIS OF REINFORCED CONCRETE ELEMENTS WORKING UNDER COMPRESSION WITH BENDING IN TWO PLANES IN ACCORDANCE WITH ES 2 AND SP 52-101-2003

Key words: column analysis, method of ultimate forces, compression with two-axial bending, deformation model, ES 2, EN 1992.

The article compares the manual analysis of reinforced concrete elements working under compression with two-axial bending in accordance with the handbook (SP 52-101, ES 2) and the deformation model (SP 52-101). It also shows the field of optimal use of these methods of analysis.

А.А. Пятницкий, С.А. Крутик, М.А. Журенкова

ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ УГЛЕПЛАСТИКА В ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЯХ

Ключевые слова: деревянные конструкции, усиление, композиционные материалы.

Статья посвящена использованию углепластиков для увеличения несущей способности клееных деревянных конструкций. При этом углепластик может быть расположен на поверхности конструкции или между ламелями. Выполнена оценка эффективности использования таких технических решений. Показано, что использование углепластиков является весьма эффективным способом повышения их несущей способности. При относительной высоте сечения 1/15l несущая способность балок может быть увеличена до 2-х раз. При меньшей относительной высоте балки эффективность использования углепластика возрастает. Норма прогиба 1/150 пролета обеспечивается практически для всех балок с относительной высотой сечения превышающей 1/25l.

A.A. Pyatnitskiy, S.A. Krutik, M.A. Zhurenkova

OPTIONS FOR USE OF CARBON PLASTIC COMPOSITE MATERIALS AS PART OF TIMBER STRUCTURES

Key words: timber structures, reinforcement, compound materials.

The authors consider the application of carbon plastic composites with a view to the improvement of the bearing capacity of laminated timber structures. The carbon plastic composite material may be placed on the surface of a structure or inserted in-between the lamellae. The authors have assessed the efficiency of implementation of the above process solution. The authors have proven that the use of carbon plastic composites is an efficient method for the improvement of their bearing capacity. If the relative section height is equal to 1/15l, the bearing capacity may increase twofold. If the relative height is lower, the efficiency of carbon plastic composites accrues. All beams, having a relative section height exceeding 1/25l, remain within the buckling limit.

К.В. Рочев

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СБОРА И ОЦЕНКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СТУДЕНТА ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ МАТЕРИАЛЬНОГО СТИМУЛИРОВАНИЯ

Ключевые слова: рейтинг, индекс, стипендия, материальное стимулирование, повышение активности студентов, информационная система.

В статье предлагается система, которая, с одной стороны, позволит облегчить выбор кандидатов на повышенные стипендии, с другой стороны даст инструмент для распределения остатков стипендиального фонда. Кратко приводятся алгоритмы: расчёта индексов студента (обобщённых показателей количества и качества работы студента по различным направлениям за семестр) и распределения специально отведённой части стипендиального фонда в соответствие с полученными индексами. Также производится сопоставление двух различных моделей организации процесса сбора данных по студенческой деятельности для последующей оценки.

K.V. Rochev

MODELING OF THE STUDENT'S PERFORMANCE ASSESSMENT FOR THE INFORMATION SYSTEM OF MATERIAL INCENTIVES CONSTRUCTION

Keywords: rating, index, scholarship, incentives, information system.

The paper proposes a system that on the one hand, will facilitate the selection of candidates for higher scholarship, on the other hand will allow the distribution of the scholarship fund. Also, the algorithms: the calculation of indices of student (summary measures of quantity and quality of student work in various fields for the semester) and distribution of a designated part of the scholarship fund in accordance with the received index. It also involves a comparison of two different models of the process of collecting data on student activity.

А.Н. Рыкунов, С.Л. Проскуряков

ОБОБЩЕННАЯ ВЗАИМОСВЯЗЬ ИЗНОСА ТВЕРДОСПЛАВНОГО ИНСТРУМЕНТА С ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКИМИ УСЛОВИЯМИ ПРОТЕКАНИЯ ПРОЦЕССОВ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ

Ключевые слова: износ твердосплавного инструмента, токарная обработка, температура, сила резания, математическая модель изнашивания.

Статья посвящена вопросам прогнозирования стойкости твердосплавного инструмента на основе установления экспериментально-аналитической зависимости интенсивности его изнашивания с термомеханическими условиями протекания процессов точения.

A.N. Rykunov, S.L. Proskuryakov

GENERALIZED RELATIONSHIP BETWEEN CEMENTED-CARBIDE TOOL WEAR AND THERMOMECHANICAL CONDITIONS OF METAL TURNING PROCESSES

Keywords: cemented-carbide tool wear, turning, temperature, shearing intensity, mathematical model of wearability.

The article is devoted to the prediction of cemented-carbide tool durability on the basis of experimental analytical determination of the relationship between its wear and thermomechanical conditions of metal turning processes.

А.Г. Рымаров, В.В. Савичев

ВОЗДУШНЫЙ РЕЖИМ РЕГЕНЕРАТИВНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ В АДМИНИСТРАТИВНОМ ЗДАНИИ С ЗИМНИМ САДОМ

Ключевые слова: зимний сад, воздушный режим, скорость движения воздуха.

Рассмотрен воздушный режим административного здания с зимним садом при организации регенерации воздуха при работе рециркуляционной системы вентиляции. Приведена схема реализации воздушного режима в зимнем саду. Анализ результатов моделирования воздушного режима в помещении зимнего сада показал адекватность скоростей движения воздуха требуемым значениям.

A.G. Rymarov, V.V. Savichev

AIR MODE OF REGENERATIVE VENTILATION IN AN OFFICE BUILDING WITH A WINTER GARDEN

Keywords: Winter Garden, air treatment, air flow & velocity.

Considered a mode of administrative building of the Conservatory of the recirculation air regeneration system of ventilation. Is a diagram of the air treatment in the winter garden. Analysis of the results of the simulation mode indoors air of winter garden showed the adequacy of air speeds required values.

К.А. Смотрин

ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗНАЧЕНИЯ НЕКОТОРЫХ НЕНОРМИРУЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ ЧАСТИЧНЫХ РАЗРЯДОВ

Ключевые слова: частичные разряды, диагностирование высоковольтного электрооборудования, напряжение возникновения частичных разрядов.

В статье рассматривается возможность применения в качестве диагностического параметра ненормируемой величины – напряжения, при котором в дефекте изоляции начинаются частичные разряды, и дается его определение, основанное на вероятностном подходе.

K.A. Smotrin

SINGULARITIES OF DEFINITION VALUES OF SOME NONNORMABLE PARAMETERS OF PARTIAL DISCHARGES

Keywords: partial discharges, high voltage equipment diagnosing,
partial discharge inception voltage.

Article is devoted to possibilities of use nonnormable parameter - partial discharge inception voltage for diagnosing insulation. The definition of the proposed diagnostic parameter based on a probabilistic approach is given.

И.С. Стародубцев

ИНИЦИАЛИЗИРУЕМЫЙ ЗАХВАТ ДВИЖЕНИЯ И СЛЕЖЕНИЕ НА ОСНОВЕ КАРТ ГЛУБИН ДЛЯ ЖЕСТОВОГО ИНТЕРФЕЙСА

Ключевые слова: карта глубин, жестовый интерфейс, движение, трекинг.

В статье представлен метод захвата движения и трекинга точки интереса на основе карт глубин с помощью инициирующих жестов. Описанный метод является частью комплексного жестового интерфейса.

I.S. Starodubtsev

DEPTH MAP BASED INITIALIZED MOTION CAPTURE AND TRACING FOR GESTURE INTERFACE

Keywords: depth scene map, motion capture, gesture interface, tracking.

The paper presents a method of depth based motion capture and tracking points of interest using initiating gestures. The described method is part of a complex gestures interface.

М.В. Таланова, А.П. Пустовгар, С.А. Пашкевич

ВЛИЯНИЕ БАЗАЛЬТОВОГО ФИБРОВОЛОКНА НА ОСНОВНЫЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕЛКОЗЕРНИСТОГО БЕТОНА

Ключевые слова: дисперсное армирование, базальтовое фиброволокно, мелкозернистый бетон.

В работе рассмотрено влияние коэффициента дисперсного армирования базальтовым фиброволокном мелкозернистых бетонов. Показано изменение основных физико-механические характеристик при различном коэффициенте армирования и цементно-песчаном отношении.

M.V. Talanova, A.P. Pustovgar, S.A. Pashkevich

INFLUENCE OF THE BASALT FIBRE OF FINE-GRAINED CONCRETE BASIC PROPERTIES

Keywords: disperse reinforcing, a basalt fibre, fine-grained concrete

In work it is considered influences of factor of disperse reinforcing of a concrete mix by a basalt fibre. Show the changes of basic properties of fine-grained concrete basic properties with different cement-sandy relation and various factor of the reinforcing.

И.А. Таскин

ЖЕСТКОСТЬ ПОЛОГИХ КУПОЛОВ ИЗ КЛЕЕНОЙ АРМИРОВАННОЙ ДРЕВЕСИНЫ РАЗЛИЧНЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ

Ключевые слова: пологие сетчатые купола, армированная древесина, жесткость куполов, настил, ребра, прогоны, численные методы.

Рассмотрен подход к изучению жесткости пологих сетчатых куполов из клееной армированной древесины (численный эксперимент). Выявлена зависимость жесткости купола от нескольких факторов: наличия прогонов, конструкций основных ребер и настила, размера треугольных ячеек из треугольных элементов купола. Произведен анализ и сделаны выводы о влиянии перечисленных факторов на жесткость конструктивной системы купола. При проведении эксперимента использовался программный комплекс Лира 9.6 R6.

I.A. Taskin

RIGIDITY OF LOW-PITCHED DOMES OF DIFFERENT CONSTRUCTION SOLUTIONS

Key words: low-pitched reticular domes, reinforced glued wood, rigidity of domes, floor, ribs, purlins, numerical methods.

There was considered approach to studying of rigidity of low-pitched reticular domes consist of reinforced glued wood (numerical experiment).
There was determined dependence of dome rigidity on several factors: purlins, main ribs, floor, and dimensions of triangular elements. Analysis was carried out and conclusions were made about the influence of the factors on the rigidity of structural system of dome. Software system Lira 9.6 R3 was being used during the experiment.

В.Н. Хмелёв, А.Н. Сливин, А.Д. Абрамов

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРИ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ СВАРКЕ

Ключевые слова: Ультразвуковая сварка, термопласты, технология, аппараты.

В работе получены значения энергии, выделяющейся в процессе прессовой и непрерывной ультразвуковой сварки в зависимости от физических свойств и толщины материалов. Это позволило повысить эффективность энергетического воздействия за счет установления оптимальных режимов воздействия и обеспечения необходимых диапазонов регулирования энергетических параметров сварочных аппаратов. Созданные сварочные аппараты обеспечили возможность решения технологических задач сварки разнообразных изделий.

V.N. Khmelev, A.N. Slivin, A.D. Abramov

INCREASING OF ENERGY EFFICIENCY OF ULTRASONIC WELDING EQUIPMENT

Key words: Ultrasonic welding, thermoplastic materials, technology, devices.

The dependences of ultrasonic energy produced in materials from basic parameters of press and continuous ultrasonic welding are presented in article. There is possibility to provide optimal modes adjusting of energetic parameters of ultrasonic welder equipment and to achieve high efficiency of solving of different technological tasks of wares welding.

В.Н. Хмелев, А.В. Шалунов, К.В. Шалунова, В.А. Нестеров, В.Е. Бажин

СОЗДАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ УЛАВЛИВАНИЯ ВЫСОКОДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ ЦЕНТРОБЕЖНО-АКУСТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Ключевые слова: коагуляция, ультразвук, пылеулавливающее оборудование.

В статье представлены результаты создания оборудования для улавливания дисперсных частиц

V.N. Khmelev, A.V. Shalunov, K.V. Shalunova, V.A. Nesterov, V.E. Bazhin

THE EQUIPMENT DEVELOPMENT FOR THE FINE PARTICLES TRAPPING WITN A CENTRIFUGAL AND ACOUSTIC METHOD

Keywords: coagulation, ultrasound, dust-collection equipment.

The paper presents the results concerning the development of the equipment intending to trap the

размером менее 1 мкм. Особенностью разработанного оборудования является применение источников УЗ колебаний, обеспечивающих повышение эффективности работы оборудования до 99% при улавливании частиц размером менее 1 мкм.

dispersed particles less than 1 micron/ The distinction of the equipment designed is the application of the ultrasound oscillation sources that are capable to provide the equipment operation efficiency increase up to 99 percent white trapping the particles of less than 1 micron.

В.П. Хранилов, Е.В. Тесленко, В.В. Андреев

ФОРМИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕМ В ПРОЕКТИРОВАНИИ ДЕТАЛЕЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Ключевые слова: автоматизированное проектирование, математическая модель, агрегат, конструктивно-технологические параметры деталей.

В статье описывается и анализируется динамическая модель интерактивного управления конструкторско-технологическим взаимодействием, предлагаемая для применения при автоматизированном проектировании.

V.P. Hranilov, E.V. Teslenko, V.V. Andreev

CREATING OF THE DESIGN TECHNOLOGYCAL COOPERATION MANAGING DYNAMIC MODEL IN MECHANICAL ENGINEERING

Keywords: CAD, CAPP Systems, mathematical model, aggregate, the constructive-technological signs of details.

The article describes and analyzes the dynamic model of interactive managing of design and technological cooperation proposed for use in computer-aided design.

К.В. Чалов, Ю.В. Луговой, А.Ю. Косивцова, Ю.Ю. Косивцов, Э.М. Сульман

КОМПЛЕКСНЫЕ КАТАЛИТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ С ПОЛУЧЕНИЕМ ТЕПЛОВОЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Ключевые слова: углеродсодержащие отходы, газификация, катализатор, электрическая энергия.

Статья посвящена обзору технологий получения топлив и энергии на основе углеродсодержащих отходов. Основное внимание уделено повышению эффективности указанных процессов путем каталитического воздействия. Рассмотрены технологии газификации углеродсодержащих отходов и процессы переработки получения горючих газов.

K.V. Chalov, Y.V. Lugovoi, A.Y. Kosivcova, Y.Y. Kosivcov, E.M. Sulman

CATALYTIC COMPLEX TECHNOLOGIES THERMAL PROCESSING OF CARBON-CONTAINING WASTE WITH THE RECEIPT OF HEAT AND ELECTRICITY

Keywords: carbon-containing waste, gasification, catalytic, electrical energy.

This paper is devoted to the review of fuel and energy production technologies based upon carbon-containing wastes. The main attention is spared to the increasing the efficiency of the mentioned processes via catalytic influence. The technologies of carbon-containing wastes and combustible gases processing are considered.

К.В. Чалов, Ю.В. Луговой, А.Ю. Косивцова, Ю.Ю. Косивцов, Э.М. Сульман

ТЕРМОКАТАЛИТИЧЕСКОЕ РАЗЛОЖЕНИЕ ОРГАНИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ КАК МЕТОД ПОЛУЧЕНИЯ ГАЗООБРАЗНОГО ТОПЛИВА И ГИДРОФОБНОГО ТВЕРДОГО ОСТАТКА

Ключевые слова: торф, низкотемпературный каталитический пиролиз, бентонитовая глина, синтетические цеолиты, углеводороды, теплота сгорания.

В статье представлены результаты исследования термической деструкции органических материалов (композиций торф – органические отходы) с получением газообразного топлива с высокой теплотой сгорания.

K.V. Chalov, Y.V. Lugovoi, A.Y. Kosivcova, Y.Y. Kosivcov, E.M. Sulman

CATALYTIC THERMAL DECOMPOSITION OF ORGANIC MATERIALS AS A METHOD OF GASEOUS FUEL AND A HYDROPHOBIC SOLID RESIDUES

Keywords: peat, low-temperature catalytic pyrolysis, bentonite clay, synthetic zeolites, gaseous products, hydrocarbon, heat of combustion.

The paper presents the results of a study of thermal degradation of organic matter (peat compositions - organic waste) to produce gaseous fuel with a high heat of combustion.

Д.Ю. Чунюк, С.А. Сергеев

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ (МКЭ) ПРИ РАСЧЕТАХ И ПРОЕКТИРОВАНИИ УСИЛЕНИЯ ФУНДАМЕНТОВ РЕКОНСТРУИРУЕМЫХ ЗДАНИЙ

Ключевые слова: осадки здания, изменение прочностных характеристик, расчетное сопротивление.

В настоящей работе проводилась оценка сходимости методов расчета осадок реконструируемого здания согласно нормативным источникам и с помощью конечно-элементного моделирования в программе PLAXIS 2D на примере реконструкции промышленного цеха.

D.Y. Chunyuk, S.A. Sergeev

APPLICATION OF FINITE ELEMENT METHOD (FEM) FOR CALCULATION AND DESIGH TO STRENGTHEN THE FOUNDATIONS OF THE RECONSTRUCTED BUILDING

Keywords: building settlement, changes in the strength characteristics, the design resistance.

In this paper we evaluated the convergence of methods for calculating the residue of the reconstructed building in accordance with regulatory sources and using finite-element modeling program for PLAXIS 2D example of reconstruction of industrial plant.

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

№3 2013

Направления:

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ
ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ
ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

www.ntvp.ru

Свидетельство № ПИ № ФС77-41672 от 13 августа 2010г.

Подписано в печать 20.06.2013 Формат 60 х 84 1/8. Печать цифровая.

16,9 усл.печ.л. 19,4 уч.изд.л. Тираж 900 экз. Заказ 1087.

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»