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

№2 2013

Направления:

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ
ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ
ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Казань

2013

УДК 60
ББК 30-1
Н-66

Н-66 Научно-технический вестник Поволжья. №2 2013г. – Казань: Научно-технический вестник Поволжья, 2013. – 298 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

ISSN 2079-5920 **© Научно-технический вестник Поволжья, 2013 г.**

СОДЕРЖАНИЕ

В.К. Половняк ТЕНДЕНЦИИ В РАЗВИТИИ ТЕХНОЛОГИЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ ИОНОВ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ 11

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

Н.И. Большакова, Е.Б. Пименова ГИБКАЯ БАЛКА НА ДВУХПАРАМЕТРИЧЕСКОМ УПРУГОМ ОСНОВАНИИ 15

И.Н. Бояршинова, М.М. Дробинин СНИЖЕНИЕ УРОВНЯ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ИЗДЕЛИЯХ ИЗ ПОЛИМЕРОВ ПУТЕМ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА 19

В.В. Дружинин, Т.В. Алексюнина, В.С. Холушкин ДЕЛЕНИЕ ЧИСЕЛ С ПОМОЩЬЮ ВЕКТОРА ПАСКАЛЯ 24

Р.Г. Куликов, А.А. Звягин ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧИ ОДНООСНОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ В РАМКАХ НЕЛИНЕЙНОЙ ТЕОРИИ УПРУГОСТИ 27

Д.Г. Лазаренко, В.А. Ружников, В.Р. Агафонов, Г.Э. Лазаренко, С.М. Тулин РАЗРАБОТКА КОМПОЗИТНОГО НАНОСТРУКТУРИРОВАННОГО КОЛЛЕКТОРА ТЕРМОЭМИССИОННОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ 32

К.В. Пахомов, О.А. Перегудова, Е.В. Филаткина СИНТЕЗ ЗАПАЗДЫВАЮЩЕГО УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ КОЛЕСНОГО РОБОТА НА ОСНОВЕ МЕТОДА БЭКСТЕППИНГА 37

С.В. Половченко, В.В. Роговский, П.В. Чартий, В.Г. Шеманин ЛАЗЕРНАЯ ДИАГНОСТИКА РЕЛАКСАЦИОННЫХ АЭРОДИСПЕРСНЫХ ПОТОКОВ 41

В.В. Трегулов, Г.Н. Скопцова ВЛИЯНИЕ АНТИОТРАЖАЮЩЕГО ПОКРЫТИЯ НА ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КРЕМНИЕВОГО ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ 44

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Е.В. Биктагирова, В.К. Половняк, В.В. Биктагиров КОРРЕЛЯЦИЯ ОСНОВНЫХ 3d- ОРБИТАЛЕЙ ИОНОВ Ti(III) В АССОЦИАТАХ ПО ДАННЫМ ЭПР 48

А.К. Молодкин, Н.Я. Есина, М.Н. Курасова, М.В. Тачаев, О.И. Андреева МОНОЛИГАНДНЫЕ КООРДИНАЦИОННЫЕ СОЕДИНЕНИЯ Rh(III) С АМИНОКИСЛОТАМИ 52

Т.В. Сахно, В.М. Курашов, В.М. Емельянов, А.Р. Кутлахметова, Е.В. Гусева, В.К. Половняк, Р.И. Хайдарова БАКТЕРИЦИДНЫЕ И АНТИОКСИДАНТНЫЕ СВОЙСТВА ПРОКСАНОЛА-168 В ПРИСУТСТВИИ СУЛЬФАТВОССТАНАВЛИВАЮЩИХ БАКТЕРИЙ РОДА *DESULFOBAKTER* 56

А.К. Чубенко, А.И. Мамаев, Ю.Ю. Будницкая, Т.И. Дорофеева РОЛЬ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ТОКОВОГО ИМПУЛЬСА КАК ФАКТОРА УПРАВЛЕНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ АНОДНО-ОКСИДНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ПРИМЕРЕ СПЛАВА АЛЮМИНИЯ Д16 62

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Д.А. Акимов БЕСКОНТАКТНЫЙ ИНТЕРФЕЙС ДЛЯ ОПЕРАТОРОВ УПРАВЛЕНИЯ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ СИСТЕМАХ КОНТРОЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ 65

В.А. Аришин, К.В. Сызранцева РАСЧЕТ, ОПТИМИЗАЦИЯ И ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ДЕМПФИРУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА ОСЕВЫХ КОЛЕБАНИЙ БУРИЛЬНОЙ КОЛОННЫ 69
В.Р. Асадченко, А.В. Ермилов РАЗРАБОТКА МЕТОДА РАСЧЕТА ТОРМОЗНОГО ПУТИ ПРИ КОМПОЗИЦИОННЫХ ТОРМОЗНЫХ КОЛОДКАХ В ЗИМНИХ УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ 73
О.И. Бахирева, А.В. Басов, Т.В. Кондратьева, С.А. Иларионов, В.В. Горелов, В.Н. Басов ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ ПОЧВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИММОБИЛИЗОВАННЫХ НА ГЛАУКОНИТЕ МИКРООРГАНИЗМОВ 79
В.Ф. Беккер ОЦЕНКА ЗАПАЗДЫВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В ДИНАМИКЕ НЕСТАЦИОНАРНОЙ СЕПАРАЦИИ ГУБЧАТОГО ТИТАНА 82
В.Ф. Беккер, М.Г. Гребенева ВВЕДЕНИЕ МНОГОАГЕНТНОЙ КОМПОНЕНТЫ В УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ХИМИЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ 85
А.А. Бешта, Ю.В. Новикова СПОСОБ ЧИСЛЕННОЙ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ 89
А.П. Буйносов, Я.А. Мишин АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ УЗЛОВ ЭЛЕКТРОВОЗОВ ВЛ10 И ВЛ11 НА ОСНОВЕ ДИАГРАММЫ ИСИКАВЫ 93
А.П. Буйносов, Я.А. Мишин АНАЛИЗ ОТКАЗОВ УЗЛОВ ЭЛЕКТРОВОЗОВ ПОСТОЯННОГО ТОКА НА ОСНОВЕ ЗАКОНА ПАРЕТО 97
А.М. Васильев, М.А. Костромин, А.П. Резько РАЗРАБОТКА ОБОБЩЕННОЙ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ И УПРАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ РОБОКАРА 101
В.В. Глебов, А.Ю. Шурыгин, А.В. Курненков ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ УСТАНОВКИ ОЧИСТКИ СОЖ НА ГИДРОДИНАМИЧЕСКУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ ПОТОКА НА ОСНОВЕ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ 104
М.В. Дерябкина НЕКОТОРЫЕ ПРОБЛЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЯ КАВИТАЦИОННЫХ ЯВЛЕНИЙ 108
А.А. Елисов ИЗМЕРЕНИЕ ГЛУБИНЫ ПОВЕРХНОСТНЫХ ТРЕЩИН В ГАЛТЕЛЬНЫХ ПЕРЕХОДАХ МЕТАЛЛОИЗДЕЛИЙ ЭЛЕКТРОПОТЕНЦИАЛЬНЫМ МЕТОДОМ 111
А.М. Игнатова, С.В. Наумов, М.М. Каминский, В.Л. Попов, Б.Ю. Антонов, М.Н. Игнатов, О.Ю. Шешуков ПРОЕКТНО-ПЛАНИРОВОЧНОЕ РЕШЕНИЕ МОДУЛЯ ПО ПРОИЗВОДСТВУ ПЛАВЛЕНОГО СВАРОЧНОГО ФЛЮСА ИЗ ТЕХНОГЕННЫХ ОБРАЗОВАНИЙ КАМНЕЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА 115
Б.В. Казбеков РАСПОЗНАВАНИЕ ПОДВИЖНЫХ НАЗЕМНЫХ ОБЪЕКТОВ С БОРТА БЛА 120
Н.Н. Карнаухов, А.В. Яркин, А.Р. Крук, Ф.Д. Шараев МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЭЛЕКТРОПРОГРЕВА ГИДРОПРИВОДА В ЗИМНИЙ ПЕРИОД 123
Ю.П. Кирин, С.Л. Краев ИДЕНТИФИКАЦИЯ СИТУАЦИЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВА ГУБЧАТОГО ТИТАНА 127
А.В. Козлова, В.Я. Модорский ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАВИТАЦИОННЫХ ЭФФЕКТОВ В ЗАМКНУТОЙ ТРУБЕ С ПОДВИЖНОЙ СТЕНКОЙ 132
В.В. Королев ПОСТРОЕНИЕ ПРОГРАММ УПРАВЛЕНИЯ НАПРАВЛЯЮЩИМИ АППАРАТАМИ КОМПРЕССОРА МНОГОСВЯЗНОГО ГТД 136
О.В. Костенко, К.Н. Орлова ПОСТРОЕНИЕ НЕЙРОАЛГОРИТМА ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ СУММАРНОГО ОБЛУЧЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА 142
Я.С. Крюкова, В.О. Каледин, Т.В. Бурнышева ЭФФЕКТИВНЫЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ КУСОЧНО-ОДНОРОДНОЙ СРЕДЫ 146

Д.О. Куценко ДВУХПАРАМЕТРОВАЯ ВИХРЕТОКОВАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА СВЕРХПРОВОДЯЩЕЙ ПРОВОЛОКИ 150
А.Е. Кучма, В.В. Шубина, Е.Ю. Курныкина О ПУТЯХ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СПОСОБА ПОРОШКОВОГО КРАШЕНИЯ ШВЕЙНЫХ НИТОК В ПСЕВДООЖИЖЕННОМ СЛОЕ 154
Г.Э. Лазаренко, С.М. Тулин, В.В. Медведев РАЗРАБОТКА АВАРИЙНОГО ИСТОЧНИКА ТОКА ДЛЯ АЭС 158
Е.Н. Минаев ИССЛЕДОВАНИЕ КАТОДНОЙ ЗАЩИТЫ СТАЛИ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ВОДЕ 162
С.В. Наумов, А.Е. Канина, А.М. Игнатова, М.Н. Игнатов О ФРАКЦИОННОМ СОСТАВЕ СВАРОЧНЫХ ФЛЮСОВ 166
С.В. Наумов, А.Е. Канина, А.М. Игнатова, М.Н. Игнатов ФОРМИРОВАНИЕ ГРАНУЛ КЕРАМИЧЕСКОГО ФЛЮСА ИЗ ТЕХНОГЕННЫХ ОБРАЗОВАНИЙ МЕСТОРОЖДЕНИЙ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ В ВОЗДУШНОМ ПОТОКЕ СКОРОСТНОГО СМЕСИТЕЛЯ-ГРАНУЛЯТОРА ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ 170
А.А. Пейсахович, Е.М. Веденева, Г.В. Семенченко К ВОПРОСУ О ПОВЫШЕНИИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПАРОФАЗНОГО КРАШЕНИЯ ШВЕЙНЫХ НИТОК 177
В.Л. Попов, Б.Ю. Антонов, А.М. Игнатова КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЛИНИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И ТЕРМИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ЛИТЕЙНЫХ ФОРМ В ПРОИЗВОДСТВЕ ПЕТРУРГИЧЕСКИХ ОТЛИВОК 181
В.Л. Попов, Б.Ю. Антонов, А.М. Игнатова, М.Н. Игнатов КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РЕКОНСТРУИРОВАННОЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ КРИСТАЛЛИЗАЦИОННО-ОТЖИГАТЕЛЬНОЙ ПЕЧИ ДЛЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ЛИТЫХ ПЕТРУРГИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ 185
С.И. Рощина, М.С. Сергеев, А.В. Лукина, М.С. Лисятников ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕРЕВОКОМПОЗИТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭПОКСИДНЫХ ОЛИГОМЕРОВ МОДИФИЦИРОВАННЫХ УГЛЕРОДНЫМИ НАНОТРУБКАМИ 189
И.В. Рыжиков, С.Н. Зайцев ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДИФФУЗИОННЫХ УЧАСТКОВ ВОЛЬТ - АМПЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СВЕТОДИОДОВ С УЧЁТОМ ПРИЛИПАНИЯ ЭЛЕКТРОНОВ И ДЫРОК 193
К.В. Рябинин РАЗРАБОТКА МУЛЬТИПЛАТФОРМЕННОЙ КЛИЕНТ-СЕРВЕРНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ НАУЧНОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ 197
В.А. Седов, Н.А. Седова ГИБРИДНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ СУДНОМ 204
А.А. Селиверстов, И.Е. Тимофеев, С.Х. Загидуллин К ВОПРОСУ О НАЛИПАНИИ МАТЕРИАЛА НА РАБОЧИЕ ПОВЕРХНОСТИ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ СУШИЛОК 208
Ю.В. Стародубцева ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ ОБРАТНОЙ ГРАНИЧНОЙ ЗАДАЧИ РЕГУЛЯРИЗОВАННЫМ МЕТОДОМ ЛЕВЕНБЕРГА-МАРКВАРДТА 212
Ю.А. Степанов О СПОСОБЕ ВИЗУАЛИЗАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАБОТЫ ОЧИСТНОГО ЗАБОЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛЕКТРОННЫХ КАРТ 216
Н.А. Степовая, Л.В. Пешкова ОПТИМИЗИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА АБСОРБЦИИ НИТРОЗНОГО ГАЗА РАСТВОРАМИ АЗОТНОЙ КИСЛОТЫ 220
К.А. Сурниченко, А.В. Жданов ПОДХОД К ИМИТАЦИОННОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ ИНТЕГРИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПРЕДПРИЯТИЯ 224
В.Н. Сызранцев, В.Н. Ильиных, К.В. Сызранцева МЕТОДИКА ОБРАБОТКИ ДАННЫХ МАЛОЦИКЛОВЫХ УСТАЛОСТНЫХ ИСПЫТАНИЙ ГИБКИХ ТРУБ 228
А.А. Талалаев, И.П. Тищенко, В.П. Фраленко, В.М. Хачумов КОНЦЕПЦИЯ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ВИЗУАЛИЗАЦИИ И ОБРАБОТКИ МЕДИЦИНСКИХ И ПРОМЫШЛЕННЫХ СНИМКОВ 233

А.П. Тейхриб ОБЗОР ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА ПЕРЕДАЧИ ПОТОКОВЫХ АУДИОДАННЫХ 239
В.С. Фанасков РАЗРАБОТКА ПРЕДМЕТНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО ЯЗЫКА ПРОГРАММИРОВАНИЯ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ТЕМАТИЧЕСКИХ ЭЛЕКТРОННЫХ КАРТ 243
И.С. Федоров, Г.П. Жигулин СИСТЕМА ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ КОМПЬЮТЕРНЫХ ПРЕСТУПЛЕНИЙ И ОБРАЗОВАНИЯ ДОКАЗАТЕЛЬНОЙ БАЗЫ ПРИ ИХ СОВЕРШЕНИИ НА ОСНОВЕ КОНТРОЛИРОВАНИЯ ЭКРАНА ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ 246
В.Н. Хмелёв, Р.Н. Голых, С.С. Хмелёв, К.А. Карзакова ВЫЯВЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ И УСЛОВИЙ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КАВИТАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ ВЫСОКОВЯЗКИХ ЖИДКОСТЕЙ 249
П.И. Черненко РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ИЗМЕРЕНИЯ ГЛУБИНЫ И УГЛА НАКЛОНА ПОВЕРХНОСТНЫХ ТРЕЩИН ЭЛЕКТРОПОТЕНЦИАЛЬНЫМ МЕТОДОМ 252
А.С. Шакиров РАДИОЧАСТОТНЫЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ 256
Е.И. Шехтман О НЕКОТОРЫХ АСПЕКТАХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В СИСТЕМЕ «КОЛЕСО - РЕЛЬС» 260
И.А. Штырова ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ВУЗОВСКОГО ЦЕНТРА ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ 263
П.П. Юрыгин, И.С. Гуданов, Г.М. Гончаров, А.А. Ломов МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СОЭКСТРУЗИИ ДЛИННОМЕРНЫХ КОЛЬЦЕВЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ РЕЗИНОВЫХ СМЕСЕЙ 267
П.П. Юрыгин, И.С. Гуданов, Г.М. Гончаров, А.А. Ломов МЕТОД ЧИСЛЕННОГО РАСЧЕТА СТРАТИФИЦИРОВАННОГО ТЕЧЕНИЯ ВЯЗКОУПРУГИХ ЖИДКОСТЕЙ В ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ КАНАЛАХ 272

АННОТАЦИИ 278

THE RELEASE MAINTENANCE

V.K. Polovnyak TECHNOLOGY TRENDS WASTEWATER TREATMENT OF HEAVY METAL IONS 11

PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES

N.I. Bolshakova, E.B. Pimenova A FLEXIBLE GIRDER ON A TWO-PARAMETER ELASTIC BASE 15
I.N. Boyarshinova, M.M. Drobinin CONTROL OF VITRIFYING POLYMERS COOLING PROCESS OPTIMIZATION AIMED AT RESIDUAL STRESSES DECREASE 19
V.V. Druzhinin, T.V. Aleksjunina, V.S. Holushkin DIVISION OF NUMBERS WITH THE HELP OF VECTOR OF PASCAL 24
R.G. Kulikov, A.A. Zvyagin APPLICATION OF PARALLEL COMPUTING TECHNOLOGIES TO SOLUTION OF NONLINEAR ELASTIC UNIAXIAL DEFORMATION BOUNDARY PROBLEM 27
D.G. Lazarenko, V.A. Ruzhnikov, V.R. Agafonov, G.E. Lazarenko, S.M. Thulin DEVELOPMENT OF THE COMPOSITE NANOSTRUCTURED COLLECTOR FOR THE THERMIONIC ENERGY CONVERTER 32
K.V. Pahomov, O.A. Peregudova, E.V. Filatkina SYNTHESIS OF DELAYED MOTION CONTROL FOR WHEELED ROBOT ON THE BASE OF BACKSTEPPING METHOD 37
S.V. Polovchenko, V.V. Rogowsky, P.V. Charty, V.G. Shemanin LASER DIAGNOSTICS RELAXATION AERODISPERSE FLOWS 41
V.V. Tregulov, G.N. Scoptsova EFFECT OF ANTIREFLECTION COATING ON THE ELECTRICAL PROPERTIES OF SILICON PHOTOVOLTAIC SOLAR ENERGY CONVERTERS 44

CHEMICAL SCIENSEC

E.V. Biktagirova, V.K. Polovnyak, V.V. Biktagirov THE CORRELATION OF BASED 3d-ORBITALS OF IONS Ti(III) IN ASSOCIATES BY ESR DATA 48
A.K. Molodkin, N.Y. Esina, M.N. Kurasova, M.V. Tachaev, O.I. Andreeva MONO-LIGAND COMPLEX COMPOUNDS OF Rh(III) WITH AMINOACIDS 52
T.V. Sakhno, V.M. Kurashov, V.M. Emelyanov, A.R. Kutlahmetova, E.V. Guseva, V.K. Polovnyak, R.I. Haidarova BACTERICIDAL AND ANTIOXIDANT PROPERTIES OF PROXANOL-168 IN THE PRESENCE OF SULFATE- REDUCING MICROORGANIZMS *DESULFOBAKTER* 56
A.K. Chubenko, A.I. Mamaev, Ju.Ju. Budnitskaya, T.I. Dorofeeva CURRENT IMPULSE DURATION ROLE AS MANAGEMENT FACTOR FOR PHYSICOMECHANICAL CHARACTERISTICS OF ANODIC OXIDATION COATINGS BY EXAMPLE OF D16 ALUMINIUM ALLOY 62

ENGINEERING SCIENCE

D.A. Akimov THE NONCONTACT INTERFACE FOR OPERATORS OF MANAGEMENT ON INDUSTRIAL MONITORING SYSTEMS TECHNOLOGICAL PROCESS 65
V.A. Arishin, K.V. Syzrantseva CALCULATION, OPTIMIZATION AND RELIABILITY ESTIMATION OF AXIAL VIBRATION DAMPER OF DRILL STRING 69
V.R. Asadchenko, A.V. Ermilov DEVELOP A METHOD FOR CALCULATING THE STOPPING DISTANCE FOR COMPOSITE BRAKE SHOES IN WINTER CONDITIONS 73

O.I. Bahireva, A.V. Basov, T.V. Kondratyeva, S.A. Ilarionov, V.V. Gorelov, V.N. Basov RESEARCH OF PROCESS OF NEUTRALIZATION OF THE PETROPOLLUTED SOILS WITH USE OF THE MICROORGANISMS IMMOBILIZED ON GLAUKONIT 79
V.F. Becker EVALUATION LAG TEMPERATURE DYNAMICS UNSTEADY SEPARATION TITANIUM SPONGE 82
V.F. Bekker, M.G. Grebeneva INTRODUCTION MULTIAGENT COMPONENTS IN QUALITY MANAGEMENT OF CHEMICALS 85
A.A. Beshta, U.V. Novikova METHOD OF NUMERICAL ESTIMATION OF INFORMATION SYSTEM STATUS 89
A.P. Buinosov, Ya.A. Mishin RELIABILITY ANALYSIS OF NODES OF ELECTRIC LOCOMOTIVES OF VL10 AND VL11 ON THE BASIS OF THE CHART ISIKAVA 93
A.P. Buinosov, Ya.A. Mishin THE ANALYSIS OF FAILURES OF NODES OF ELECTRIC LOCOMOTIVES OF THE DIRECT CURRENT ON THE BASIS OF PARETO LAW 97
A.M. Vasilyev, M.A. Kostromin, A.P. Rezko WORKING OUT OF THE GENERALIZED FUNCTION CHART OF INFORMATION-MEASURING AND OPERATING SYSTEM ROBOKARA 101
V.V. Glebov, A.Yu. Shurygin, A.V. Kurnenkov INVESTIGATION ON THE INFLUENCE OF DESIGN AND TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF COOLANT CLEANING SYSTEM ON THE HYDRODYNAMIC FLOW STABILITY BY FINITE ELEMENT ANALYSIS 104
M.V. Deryabkina SOME PROBLEMS OF CAVITATION EFFECT INVESTIGATION 108
A.A. Elisov THE MEASUREMENT OF THE DEPTH OF SURFACE CRACKS IN THE FLUTE TRANSITIONS OF FABRICATED METAL PRODUCTS METHOD 111
A.M. Ignatova, S.V. Naumov, M.M. Kaminsky, V.L. Popov, B.J. Antonov, M.N. Ignatov, O.J. Sheshukov PROJECT PLANNING SOLUTION MODULE MANUFACTURING MELTING WELDING FLUX FROM INDUSTRIAL FORMATIONS PETRURGICAL PRODUCTION 115
B.V. Kazbekov RECOGNITION OF MOVING GROUND TARGETS FROM THE BOARD UAVS 120
N.N. Karnauhov, A.V. Yarkin, A.R. Kruk, F.D. Sharaev METHODOLOGY OF CALCULATION OF ELECTRIC HEATING OF HYDRAULIC MACHINE IN WINTER 123
Y.P. Kirin, S.L. Kraev IDENTIFIFICATION OF SITUATIONS OF FUNCTIONING OF TECHNOLOGICAL PROCESSES IN CONTROL SYSTEMS OF PRODUCTION OF THE SPONGY TITAN 127
A.V. Kozlova, V.Ya. Modorsky NUMERICAL SIMULATION OF CAVITATION EFFECTS IN A CLOSED PIPE WITH MOVABLE WALLS 132
V.V. Korolev CHOOSING COMPRESSOR VARIABLE INLET GUIDE VANES CONTROL LAW FOR MULTIVARIABLE TURBOFAN ENGINE 136
O.V. Kostenko, K.N. Orlova CONSTRUCTION OF THE NEYROALGORITM FOR DETERMINATION A TOTAL HUMAN EXPOSURE 142
Y.S. Kryukova, V.O. Kaledin, T.V. Burnysheva EFFICIENT FACTORS OF ELECTRIC CONDUCTIVITY OF PIECEWISE HOMOGENEOUS MEDIUM 146
D.O. Kutenko EDDY CURRENT SETTING TO CONTROL TWO PARAMETERS OF THE QUALITY OF SUPERCONDUCTING WIRE 150
A.E. Kuchma., V.V. Shubina., E.Y. Kurnykina CONCERNING THE WAYS OF IMPROVEMENT OF SEWING THREAD POWDER DYEING IN AIR – FLUIDIZED BED 154
G.E. Lazarenko, S.M. Thulin, V.V. Medvedev DEVELOPMENT OF THE EMERGENCY POWER SUPPLY SYSTEM FOR NUCLEAR POWER REACTOR 158
E.N. Minaev INVESTIGATION OF CATHODIC PROTECTION OF STEEL IN THE SEWAGE 162

S.V. Naumov, A.E. Kanina, A.M. Ignatova, M.N. Ignatov ON THE FRACTIONAL COMPOSITION OF WELDING FLUX 166
S.V. Naumov, A.E. Kanina, A.M. Ignatova, M.N. Ignatov GRANULOMA FORMATION CERAMIC FLUX FROM INDUSTRIAL FORMATIONS MINERAL DEPOSITS IN THE AIR FLOW SPEED BLENDER BATCH GRANULATOR 170
A.A. Peysakhovich., E.M. Vedeneva, G.V. Semenchenko ON IMPROVING THE EFFICIENCY OF SEWING THREADS VAPOR-PHASE DYEING DEVICE 177
V.L. Popov, B.Y. Antonov, A.M. Ignatova STRUCTURAL-LINE CONSTRUCTION AND CHARACTERISTICS OF HEAT TRAINING IN PRODUCTION MOLDS PETRURGICAL CASTINGS 181
V.L. Popov, B.Y. Antonov, A.M. Ignatova, M.N. Ignatov STRUCTURAL-CHARACTERIZATION RECONSTRUCT INDUSTRIAL CRYSTALLIZATION ANNEALING FURNACES FOR HEAT TREATMENT PETRURGICAL CAST PRODUCTS 185
S.I. Roshina, M.S. Sergeev, A.V. Lukina, M.S. Lisyatnikov STUDY OF COMPOSITE STRUCTURES WITH MODIFIED EPOXY OLIGOMERS CARBON NANOTUBES 189
I.V. Ryzhikov, S.N. Zaytsev THEORETICAL ANALYSIS OF THE DIFFUSION PLOTS CURRENT - VOLTAGE CHARACTERISTICS OF LEDS IN VIEW ATTACHMENT OF ELECTRONS AND HOLES 193
K.V. Ryabinin DEVELOPING OF MULTI-PLATFORM SCIENCE VISUALIZATION SYSTEM 197
V.A. Sedov, N.A. Sedova HYBRID SHIP CONTROL SYSTEM 204
A.A. Seliverstov, I.E. Timofeev, S.H. Zagidullin ON THE ISSUE OF MATERIAL STICKING ON INNER SURFACE OF PNEUMATIC CONVEYING DRIER 208
Y.V. Starodubtseva NUMERICAL SOLUTION OF THE INVERSE BOUNDARY-VALUE PROBLEM BY REGULARIZED METHOD OF LEVENBERG-MARQUARDT 212
Y.A. Stepanov ON THE WAY TO VISUALIZE RESULT OF MODELING WORK CLEARING FACES WITH THE USE ELECTRONIC CHART 216
N.A. Stepovaya, L.V. Peshkova PROCESS OPTIMIZATION ABSORPTION NITRIC OXIDES IN THE NITRIC ACID SOLUTION 220
K.A. Surnichenko, A.V. Zhdanov APPROACH TO SIMULATION MODELING INTEGRATED INFORMATION SYSTEMS COMPANY 224
V.N. Syzrantsev, V.N. Il'inyh, K.V. Syzrantseva THE METHOD OF DATA PROCESSING OF FLEXIBLE PIPES LOW-CYCLE FATIGUE TESTS 228
A.A. Talalaev, I.P. Tishchenko, V.P. Fralenko, V.M. Khachumov THE CONCEPT OF HIGH PERFORMANCE MEDICAL AND INDUSTRIAL IMAGE VISUALIZATION AND PROCESSING COMPLEX 233
A.P. Teyhrib REVIEW OF AUDIO-DATA STREAMING QUALITY CHARACTERISTICS 239
V.S. Fanaskov DEVELOPMENT OF DOMAIN-SPECIFIC PROGRAMMING LANGUAGE FOR CREATING THEMATIC ELECTRONIC MAPS 243
I.S. Fedorov, G.P. Jigulin SYSTEM OF COMPUTER CRIMES PREVENTION AND EVIDENCE FORMATION BASED ON USER'S SCREEN CONROLING 246
V.N. Khmelev, R.N. Golykh, S.S. Khmelev, K.A. Karzakova REVELATION OF OPTIMUM MODES AND CONDITIONS OF HIGH VISCOSITY LIQUIDS TREATMENT BY ULTRASOUND CAVITATION 249
P.I. Chernenko DEVELOPMENT OF THE MEASUREMENT ALGORITHMTHE DEPTH AND ANGLE OF THE SURFACE CRACKS ELECTRO POTENTIAL METHOD 252
A.S. Shakirov RADIOFREQUENCY METHOD SUPERVISION OF MANUFACTURE PRODUCTS FROM COMPOSITE MATERIALS 256
E.I. Snextman SOME ASPECTS OF INTERACTION IN THE SYSTEM "WHEEL-RAIL" 260

I.A. Shtyrova THE MODELLING OF INFORMATION-ANALYTICAL SYSTEM OF THE UNIVERSITY CENTER OF ADDITIONAL EDUCATION 263
P.P. Yurygin, I.S. Gudanov, G.M. Goncharov, A.A. Lomov MATHEMATICAL MODELING OF COEXTRUSION OF LENGHTY ANNULAR PRODUCTS FROM RUBBER COMPOUNDS 267
P.P. Yurygin, I.S. Gudanov, G.M. Goncharov, A.A. Lomov NUMERICAL CALCULATION METHOD OF STRATIFIED FLOWS OF VISCOELASTIC FLUIDS IN A CYLINDRICAL CHANNELS 272

ABSTRACTS 278

В.К. Половняк д.х.н.

Казанский национальный исследовательский технологический университет,
г. Казань, vkpol@mail.ru

ТЕНДЕНЦИИ В РАЗВИТИИ ТЕХНОЛОГИЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ ИОНОВ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ

Рассмотрены разработки последних пяти лет исследователей по очистке сточных вод от ионов тяжелых металлов с использованием отходов агропромышленного комплекса, сорбционных и биосорбционных методов. Показано, что наиболее перспективным является комплексный подход на основе сочетания модифицированных сорбентов и биотехнологий.

Ключевые слова: *сточные воды, ионы тяжелых металлов, сорбенты, биотехнологии.*

На протяжении последних лет региональные исследования Республики Татарстан по экологии сосредоточены в области очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов и нефтяных загрязнений. Как в России, так и в Республике Татарстан в настоящее время используются разнообразные методы очистки сточных вод, большинство из них являются дорогостоящими и сложными в исполнении. Принципиально используемые методы очистки подразделяются на две большие группы: первая группа предназначена для снижения высокотоксичных концентраций загрязняющих веществ и для этого используются эффективные адсорбционные методы очистки. К недостаткам этих методов можно отнести сложность подготовки сорбентов и необходимость их регенерации. Вторая группа способов очистки основана на использовании метода фиторемедиации, который применяется для очистки стоков с низкими концентрациями загрязняющих веществ. Недостатками метода фиторемедиации является сезонность, длительность процесса и невысокая эффективность очистки.

В целом для решения столь сложной проблемы необходим системный комплексный подход. Прежде всего, это научная организация самих технологических процессов в различных сферах производства, направленная на решение ресурсосберегающих и экологических проблем. Примером такого подхода являются исследования Варламовой С.И. (Ульяновский государственный университет) на примере гальванических процессов кадмирования [1-5]. Однако, конечным результатом обезвреживания гальваностоков является захоронение концентратов на полигонах, что не является выходом из положения.

Этой же проблеме посвящены исследования Шулаева М.В. (Казанский государственный технологический университет), посвященные разработке научных основ обезвреживания жидких отходов гальванических и металлообрабатывающих производств [6-11]. Автором впервые разработана технология и аппаратура биосорбционного метода очистки сточных вод гальванических производств. Опытно-промышленные испытания биосорбционного метода для обработки стоков гальванических цехов на предприятиях Республики Татарстан показали что биосорбционная очистка превосходит обычную биоочистку, однако, нерешенной проблемой остаётся регенерация сорбентов. Предлагаемое их захоронение на полигонах полностью не решает проблем защиты окружающей среды от загрязнений ионами тяжелых металлов.

Вариантами решения данной проблемы является использование биосорбционного метода обработки сточных вод [12]. В частности предложена принципиальная технологическая схема обработки сточных вод биосорбционным методом, заключающаяся в предварительной подготовке сточных вод, их последующей биосорбционной обработке и доочистке на аэробном биофильтре. Показано, что наиболее эффективными адсорбентами по улавливанию ионов Cd(II), Zn(II), Cu(II), Cr(VI), Mn(II) и Fe(II) являются активированный уголь и диатомит.

Предлагаются также мембранные методы для обезвреживания сточных вод машиностроительной отрасли [13]. Показана возможность применения различных мембранных материалов (картон, брезент, поливинилхлорид и др.) для очистки сильно загрязненных сточных вод в сочетании с биосорбционными процессами.

Методология очистки сточных вод химических и нефтехимических производств фитосорбентами и модифицированными отходами агропромышленного комплекса посвящены работы Собгайды Н.А. (Саратовский государственный технический университет). [14-21]. Автором определены оптимальные технологические параметры и режимы изготовления адсорбентов на основе модифицированных отходов агропромышленного комплекса (многослойные и спеченные фильтры из терморасширенного графита, полиакрилонитрильных волокон, целлюлозо- и лигнинсодержащих компонентов) для извлечения ионов тяжелых металлов из промышленных сточных вод. Доочистка сточных вод осуществляется методом фиторемедиации с использованием различных водных растений (эйхорния, ряска, криптокарина, лимнофила). Показано, что использование полей различной природы (магнитное, УФ- и ИК-излучение) позволяет значительно увеличить количество извлекаемых ионов тяжелых металлов указанными выше растениями. Совместное использование сорбентов и фиторемедиации позволяет очистить сточные воды до кондиции природных (речных) вод.

Для доочистки сточных вод от ионов тяжелых металлов предлагается применять и другие водные растения (элодею и роголистник) [22]. Установлено, что элодея и роголистник при совместном культивировании являются активными аккумуляторами железа(II), марганца(II), цинка(II) и в меньшей степени меди(II) и никеля(II).

Более частным случаем использования отходов для приготовления сорбентов ионов тяжелых металлов являются разработки Шайхиева И.Г. по модификации и применению отходов переработки шерсти и льна для очистки загрязненных сточных вод (Казанский государственный технологический университет) [23-27]. Впервые в процессах снижения техногенной нагрузки на водоприёмники исследованы в качестве сорбционных материалов для удаления из сточных вод ионов тяжелых металлов и нефтепродуктов и предложены для промышленного использования отходы от переработки сельскохозяйственного сырья животного (кноп, обрезь) и растительного (льняная костра) происхождения. Научно обосновано применение ваысокочастотной плазмы при пониженном давлении для увеличения сорбционной ёмкости пористых высокомолекулярных материалов.

Изучение свойств шерсти и отходов, образующихся при её переработке методами ЭПР- и ИК-спектроскопии показало образование химических связей между активными группами кератина шерсти и ионами тяжелых металлов, что приводит к эффективному процессу хемосорбции [28].

Очень разумными представляются предложения такого технологического процесса очистки сточных вод, который бы обеспечивал замкнутый водооборот [29].

Эффективными оказались также технологические процессы очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов с использованием стимулирования биоценоза активного ила солями фосфоновой и фосфиновой кислот [30].

Низкая эффективность реагентного метода очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов, как правило, обусловлена проскоком ионов со взвешенными в воде компонентами и присутствием в стоках аммонийного азота. С учетом этих факторов авторами разработаны принципы управления экологической безопасностью предприятий гальванического производства и производства печатных плат [31].

В целом, основной проблемой очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов является утилизация отходов сорбентов. Выходом из положения может быть не использование напрямую отходов агропромышленного комплекса, а их предварительная обработка с извлечением активных компонентов. В этом случае объёмы сорбентов для переработки (обычно методом сжигания) уменьшаются на порядки и предлагаемые технологии становятся реально применимыми [32].

Список литературы

1.*Варламова С.И.* Электрохимические извлечение кадмия из элюатов и растворов ванн улавливания // Известия вузов. Химия и химическая технология.-2005.-Т.48.-вып.1.-С.129-130.
2.*Варламова С.И.* Исследование процесса регенерации кадмия из катионита КУ-2-8 // Известия вузов. Химия и химическая технология.-2005.-Т.48.-вып.1.-С.130-131.
3.*Варламова С.И.* Обезвреживание растворов сернокислого кадмирования с использованием катионита КУ-2-8.// Известия вузов. Химия и химическая технология.-2005.-Т.48.-вып.2.-С.109-110.
4.*Семенов В.В., Варламова С.И., Климов* Адсорбционная способность ферритизированного гальваношлама по отношению к катионам тяжелых металлов // Известия вузов. Химия и химическая технология.-2005.-Т.48.-вып.2.-С.110-111.
5.*Семенов В.В., Варламова С.И., Климов* Утилизация шламов гальванического производства методом ферритизации // Известия вузов. Химия и химическая технология.-2005.-Т.48.-вып.2.-С.111-112.
6.*Шулаев М.В., Нагаев В.В., Сироткин А.С., Емельянов В.М.* Разработка биосорбционной технологии очистки хромсодержащих сточных вод.//Химическая промышленность.-1998.-№3.-С.33-35.
7.*Шулаев М.В., Нагаев В.В., Сироткин А.С.* Исследование процесса очистки хромсодержащих сточных вод биосорбционным методом.// Химическая промышленность.-1998.-№7.-С.27-30.
8.*Шулаев М.В., Нагаев В.В., Сироткин А.С.* Реализация биосорбционного способа очистки промышленных сточных вод.// Химическая промышленность.-1998.-№10.-С.29-30.
9.*Морозов Д.Ю., Шулаев М.В., Емельянов В.М., Нуруллина Е.Н.* Исследование адсорбционной очистки сточных вод, содержащих ионы тяжелых металлов.//Вестник Казанского технол. ун-та.-2004.-№1.-С.95-98.
10.*Морозов Д.Ю., Шулаев М.В., Храмова И.А., Хабибуллина Л.И.* Исследование адсорбционной очистки сточных вод, содержащих ионы тяжелых металлов. //Химическая промышленность.-2007.-Т.83.-№3.-С.485-488.
11.*Морозов Д.Ю., Шулаев М.В., Храмова И.А., Фаттахова Г.Ф.* Биосорбционная обработка сточных вод гальванических производств.//Экология и промышленность России.-2007.-август. - С.11-13.
12.*Морозов Д.Ю., Шулаев М.В., Емельянов В.М.* Исследование возможности биосорбционной очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов.// Успехи в химии и химической технологии.- РХТУ им.Д.И.Менделеева.- 2004.-С.66-68.
13.*Храмова И.А., Шулаев М.В., Ипполитов К.Г., Емельянов В.М.* Разработка лабораторных мембранных методов для исследования очистки сточных вод.// Вестник Казанского технологического университета.-2010.-№1.- С. 273-279.
14.*Собгайда Н.А., Ольшанская Л.Н., Макарова Ю.А.* Очистка композитным фильтром при магнитной обработке сточных вод. // Известия вузов. Химия и химическая технология.-2011.-Т.54.-вып.5.-С.128-130.
15.*Собгайда Н.А., Макарова Ю.А.* Влияние природы связующего материала на сорбционные свойства сорбентов, изготовленных из отходов агропромышленного комплекса.// Вестник Саратовского государственного технического университета.-2011.-№1.-С. 41-45.
16.*Собгайда Н.А., Ольшанская Л.Н., Макарова Ю.А.* Влияние модифицирования шелухи пшеницы на сорбционные свойства к ионам тяжелых металлов. //// Известия вузов. Химия и химическая технология.-2010.-Т.53.-вып.11.-С.36-40.
17.*Собгайда Н.А., Ольшанская Л.Н., Макарова Ю.А.* Очистка сточных вод от ионов тяжелых металлов с помощью сорбентов – отходов деревообрабатывающей и сельскохозяйственной отраслей промышленности. //Химическое и нефтегазовое машиностроение.-2009.-№9.-С. 43-45.

18.*Ольшанская Л.Н., Собгайда Н.А., Тарушкина Ю.А., Колесникова О.Н.* Очистка тяжелых металлов из растворов высшими водными растениями. // Химическое и нефтегазовое машиностроение.-2008.-№1.-С. 33-34.
19.*Ольшанская Л.Н., Собгайда Н.А., Тарушкина Ю.А.* Исследование динамики накопления цинка, меди и кадмия из высоко концентрированных растворов водными растениями.//Экология и промышленность России.-2008.-февраль.- С.32-33.
20.*Собгайда Н.А., Ольшанская Л.Н., Тарушкина Ю.А., Никитина Т.В.* Сорбенты для очистки сточных вод.// Экология и промышленность России.-2007.-ноябрь.- С.32-33.
21.*Собгайда Н.А., Ольшанская Л.Н., Тарушкина Ю.А.* Сравнительный анализ очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов угле- и фитосорбентами.// .// Вестник Саратовского государственного технического университета.-2007.-№2.-С. 170-175.
22.*Калайда М.Л., Борисова С.Д.* Доочистка производственных сточных вод с помощью высших водных растений. //Экология и промышленность России.-2010.-№3.- С.33-35.
23.*Шайхиев И.Г.* Использование отходов сельского хозяйства для очистки сточных вод гальванических производств.//Вестник машиностроения.-2006.-№4.-С. 73-77.
24.*Шайхиев И.Г.* Очистка сточных вод отходами валяльно-войлочного производства.// .// Экология и промышленность России.-2007.-ноябрь.- С.21-23.
25.*Шайхиев И.Г., Зарипов Г.Ш., Зарипова А.Г.*// Вестник машиностроения.-2007.-№11.-С. 72-73.
25.*Шайхиев И.Г.* Очистка сточных вод, содержащих ионы крбольта, никеля, цинка отходами валяльно-войлочного производства.//Безопасность жизнедеятельности.-2008.-№12.-С.32-36.
27.*Шайхиев И.Г., Зарипов Г.Ш., Минлигулова Г.А.* Исследование очистки хромсодержащих гальваностоков ОАО «КАМАЗ».// Вестник машиностроения.-2010.-№8.-С. 81-83.
28.*Нагимуллина Г.Р., Шайхиев И.Г., Шмыков А.И., Фридланд С.В.* Очистка сточных вод, содержащих ионы Co^{2+}, Ni^{2+}, Zn^{2+}, отходами валядьно-войлочного производства.// Безопасность жизнедеятельности.-2008.-№12.-С. 32-36.
29.*Шакиров Ф.Ф., Шайхиев И.Г., Фридланд С.В.* Коагуляционная очистка сточных вод. //Экология и промышленность России.-2007.-№4.-С.22-23.
30.*Пантюкова М.Е., Павлова Т.П., Фридланд С.В.* Интенсификация биологической очистки сточных вод солями бисоксиметилфосфиновой кислоты.//Журнал прикладной химии.-2010.-Т.83.-Вып.12.-С.24-26.
31.*Зельдова А.И., Богуславская Л.А.* Совершенствование системы управления окружающей средой на предприятиях.//Экология производства.-2005.-№6.-С.28-32.
32.*Шекуров В.Н., Киселёва Н.В., Половняк В.К.* Изучение сорбционных свойств экстракта из лузги гречихи по отношению к ионам тяжелых металлов.//Химия и химическая технология.-1998.-Т.41.-Вып.3.-С.125-127.

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

01.02.04

Н.И. Большакова к.т.н., Е.Б. Пименова

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
г. Пермь, bolshaju@mail.ru

ГИБКАЯ БАЛКА НА ДВУХПАРАМЕТРИЧЕСКОМ УПРУГОМ ОСНОВАНИИ

Предложены приближенные аналитические решения задачи об упругой балке, лежащей на упругом двухпараметрическом основании. В отличие от известных подходов, в явном виде учтены сосредоточенные реактивные силы, возникающие на концах балки.

Ключевые слова: *аналитическое решение, упругая балка, двухпараметрическое основание, сосредоточенные реактивные силы.*

В предположении упругой работы грунтов основания, расчет деформации ленточных фундаментов сводится к решению задачи об упругой балке, лежащей на упругом основании.

Принимается двухпараметрическая модель основания П.Л.Пастернака [1], определяемая двумя коэффициентами постели - сжатия c_1 (в н/м^3) и сдвига c_2 (в н/м). Предполагается, что балка в поперечном направлении не деформируется, сечения балки не поворачиваются, и отпор грунта распределен в этом направлении равномерно.

Обобщая результаты работы [2], примем следующие допущения. К сторонам штампа приложены погонные поперечные силы T, интенсивность которых определяется выражением

$$T = \frac{c_2 w}{2s}, \tag{1}$$

$$s = \sqrt{\frac{c_2}{c_1}}, \tag{2}$$

где w – осадка заданной точки оси балки.

В начальном и конечном сечениях балка лежит на упругих опорах, реакции которых связаны с осадкой соотношением

$$N_y = 4c_2 w. \tag{3}$$

С учетом внешней нагрузки q и упругого отпора r суммарная интенсивность распределенной нагрузки p в некоторой точке оси балки шириной b определяется выражением

$$p = q - r = q - c_1 b w + \frac{c_2 w}{2s}. \tag{4}$$

Введем приведенный коэффициент жесткости упругого основания k (приведенный первый коэффициент постели)

$$k = c_1 b - \frac{c_2}{2s}. \tag{5}$$

Тогда дифференциальное уравнение изгиба балки шириной b, лежащей на двухпараметрическом основании с коэффициентами постели k и c_2, примет вид

$$EJ\frac{d^4 w}{dz^4} - bc_2\frac{d^2 w}{dz^2} + kw = q. \tag{6}$$

Здесь EJ – изгибная жесткость балки.

Введем обозначения

$$A^2 = \frac{b^2 c_2^2}{4(EJ)^2}; \quad B = \frac{k}{EJ}; \quad F = \left|A^2 - B\right|; \quad R = \sqrt{A^2 + F};$$

$$\alpha = \sqrt{\frac{R + A}{2}}; \quad \beta = \sqrt{\frac{R - A}{2}}. \tag{7}$$

Расположим начало координат в крайнем левом сечении балки, ось z направим вдоль оси балки. Полагая $A = const$, $B = const$, общее решение уравнения (6) можно представить в виде

$$w = \exp(-\alpha z)(D_1 \cos \beta z + D_2 \sin \beta z) + \exp(\alpha z)(D_3 \cos \beta z + D_4 \sin \beta z) + w^*, \tag{8}$$

где w^* - частное решение (6), вид которого определяется видом зависимости $q(z)$.

Для полубесконечной балки, учитывая затухание на бесконечности перемещений, вызванных краевыми условиями, представим прогибы в виде

$$w = \exp(-\alpha z)(D_1 \cos \beta z + D_2 \sin \beta z) + w^* = D_1 w_1 + D_2 w_2 + w^*. \tag{9}$$

При этом для остальных параметров, описывающих напряженно-деформированное состояние полубесконечной балки – угла поворота сечения, изгибающего момента M и поперечной силы Q, получаем следующие выражения

$$\frac{dw}{dz} = (-\alpha D_1 + \beta D_2) w_1 + (-\beta D_1 - \alpha D_2) w_2, \tag{10}$$

$$M = -EJ \frac{d^2 w}{dz^2} = -EJ \left\{ \left[\left(\alpha^2 - \beta^2\right) D_1 - 2\alpha\beta D_2 \right] w_1 + \left[2\alpha\beta D_1 + \left(\alpha^2 - \beta^2\right) D_2 \right] w_2 \right\}, \tag{11}$$

$$\begin{aligned} Q &= \frac{dM}{dz} + c_2 \frac{dw}{dz} = \\ &= \left\{ \left(EJ\alpha^3 - 3EJ\alpha\beta^2 - \alpha c_2\right) D_1 + \left(-3EJ\alpha^2\beta + EJ\beta^3 + \beta c_2\right) D_2 \right\} w_1 + \\ &+ \left\{ \left(3EJ\alpha^2\beta - EJ\beta^3 - \beta c_2\right) D_1 + \left(EJ\alpha^3 - 3EJ\alpha\beta^2 - \alpha c_2\right) D_2 \right\} w_2. \end{aligned} \tag{12}$$

При $q = q_0 = const$ можем положить

$$w* = \frac{q}{k}. \tag{13}$$

Рассмотрим случай, когда в начальном сечении балки заданы силовые краевые условия: изгибающий момент M_0 и поперечная сила Q_0. Принимая во внимание (11),(12), приходим к следующей системе уравнений, определяющей краевые условия

$$\begin{cases} -EJ \dfrac{d^2 w}{dz^2}(0) = M_0, \\ -EJ \dfrac{d^3 w}{dz^3}(0) + c_2 b \dfrac{dw}{dz}(0) = Q_0. \end{cases} \tag{14}$$

В соответствии с (10) - (14), имеем

$$\begin{cases} w(0) = D_1 + \dfrac{q_0}{k}, \\ \dfrac{dw}{dz}(0) = -\alpha D_1 + \beta D_2, \\ \dfrac{d^2 w}{dz^2}(0) = \left(\alpha^2 - \beta^2\right) D_1 - 2\alpha\beta D_2, \\ \dfrac{d^3 w}{dz^3}(0) = \alpha\left(-\alpha^2 + 3\beta^2\right) D_1 + \beta\left(3\alpha^2 - \beta^2\right) D_2. \end{cases} \tag{15}$$

Введем обозначение

$$\gamma = \alpha^4\beta + \alpha^2\beta^3 + \beta^5 - \frac{c_2}{EJ}\beta\left(\alpha^2 + \beta^2\right). \tag{16}$$

Решая систему (14), с учетом (15), (16), найдем

$$D_1 = -\frac{M_0}{EJ}\left(\frac{\beta}{\gamma}\right)\left(3\alpha^2 - \beta^2 + \frac{c_2 b}{EJ}\right) - \frac{Q_0}{EJ}\left(\frac{2\alpha\beta}{\gamma}\right), \tag{17}$$

$$D_2 = \frac{M_0}{EJ}\left(\frac{\alpha}{\gamma}\right)\left(-\alpha^2 + 3\beta^2 - \frac{c_2 b}{EJ}\right) + \frac{Q_0}{EJ}\left(\frac{\beta^2 - \alpha^2}{\gamma}\right). \tag{18}$$

Как уже упоминалось, в [2] показано, что к концу балки, лежащей на двухпараметрическом основании, приложена сосредоточенная упругая реакция, определяемая формулой (3). Выражение Q_0, входящее в (14), должно быть уточнено. Для этого рассмотрим следующую модельную задачу.

К полубесконечной балке, подверженной действию равномерно распределенной нагрузки q_0, в начальном сечении приложена вертикальная сила F. В этом случае краевые условия запишутся в виде

$$M_0 = 0, \quad Q_0 = 4c_2 w(0) - F. \tag{19}$$

Рассматривая совместно (9), (12), (13), (17), (18), (19), получаем

$$Q_0 = \frac{(4c_2 q_0 - kF)EJ\gamma}{k(8c_2\alpha\beta + EJ\gamma)}. \tag{20}$$

Воспользовавшись полученным результатом (20), перепишем (17), (18) в виде

$$D_1 = -\frac{M_0}{EJ}\left(\frac{\beta}{\gamma}\right)\left(3\alpha^2 - \beta^2 + \frac{c_2 b}{EJ}\right) - \frac{2\alpha\beta\eta}{k}, \tag{21}$$

$$D_2 = \frac{M_0}{EJ}\left(\frac{\alpha}{\gamma}\right)\left(-\alpha^2 + 3\beta^2 - \frac{c_2 b}{EJ}\right) + \frac{(\beta^2 - \alpha^2)\eta}{k}, \tag{22}$$

где

$$\eta = \frac{4c_2 q_0 - kQ_0}{8c_2\alpha\beta + EJ\gamma}.$$

Исходя из (21), (22), при свободном крае балки имеем

$$D_1 = -\frac{2\alpha\beta}{k}\left(\frac{4c_2 q_0}{8c_2\alpha\beta + EJ\gamma}\right), \tag{23}$$

$$D_2 = \frac{(\beta^2 - \alpha^2)}{k}\left(\frac{4c_2 q_0}{8c_2\alpha\beta + EJ\gamma}\right). \tag{24}$$

Таким образом, балка, лежащая на двухпараметрическом основании, под действием равномерно распределенной нагрузки (например, собственного веса) будет изгибаться и при свободных от нагрузок концах, что соответствует реальности. Заметим, что при моделировании основания балки основанием Винклера, расчет покажет, что от действия линейно изменяющейся распределенной нагрузки при отсутствии концевых усилий балка не изгибается, а оседает как абсолютно жесткая.

Рассмотрим теперь равномерно нагруженную распределенными усилиями интенсивностью q_0 балку конечной длины L, к левому и правому концам которой приложены сосредоточенные силы и моменты Q_0, M_0 и Q_1, M_1, соответственно.

При $L \geq \pi/\alpha$ за общее выражение для упругой линии балки, лежащей на двухпараметрическом упругом основании, можно принять, в соответствии с (8), следующее соотношение

$$w = \exp(-\alpha z)[D_1 \cos\beta z + D_2 \sin\beta z] + \exp(\alpha z - \alpha L)[D_3 \cos\beta(L - z) + D_4 \sin\beta(L - z)]. \tag{25}$$

При этом $D_3 = D_1$, $D_4 = D_2$, и их значения определяются соотношениями (21), (22).

Указанные значения D_1, D_2, D_3, D_4 можно также рассматривать в качестве первого приближения решения обсуждаемой задачи при $L < \pi/\alpha$ методом последовательных приближений. Алгоритм сводится к вычислению, с последующим суммированием, поправок $\Delta D_1^{(i)}, \Delta D_2^{(i)}, \Delta D_3^{(i)}, \Delta D_4^{(i)}$, определяемых на каждом i - шаге по формулам (21), (22), в которые, вместо Q_0, M_0, подставляются невязки соответствующих краевых условий $\Delta Q_0^{(i)}, \Delta M_0^{(i)}$ или $\Delta Q_1^{(i)}, \Delta M_1^{(i)}$.

В том случае, когда на балку кроме распределенной нагрузки действуют также и сосредоточенные силы и моменты, применение алгоритма Клебша [3] позволяет свести задачу к рассмотренной выше.

Вывод:

В предлагаемой работе построены аналитические решения некоторых пространственных задач о балке, лежащей на двухпараметрическом основании, в явном виде учитывающие сосредоточенные реактивные силы, возникающие на концах балки.

Список литературы

1. *Пастернак П.Л.* Основы нового метода расчета фундаментов на упругом основании при помощи двух коэффициентов постели. – М.: Госстройиздат, 1954. – 56с.

2. *Большаков А.А., Большаков А.Ю., Пименова Е.Б.* Прямоугольный штамп на двухпараметрическом упругом основании // Научно-технический вестник Поволжья. – 2011. - №6. – С. 26-28.

3. *Папкович П.Ф.* Труды по строительной механике корабля. Т.1. – Л.: Судпромгиз, 1962. – 576с.

01.02.04

И.Н. Бояршинова к.т.н., М.М. Дробинин

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
факультет прикладной математики и механики,
кафедра вычислительной математики и механики,
Пермь, midro@yandex.ru

СНИЖЕНИЕ УРОВНЯ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ИЗДЕЛИЯХ ИЗ ПОЛИМЕРОВ ПУТЕМ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА

Предлагаются постановка и методика решения задачи оптимального управления процессом охлаждения изделий из стеклующихся полимеров с целью снижения в них технологических остаточных напряжений, во многом предопределяющих эксплуатационные характеристики конструкций. В качестве целевой функции выбрана максимальная интенсивность остаточных технологических напряжений, для определения которых решается задача термовязкоупругости в конечно-элементной постановке. В результате решения поставленных задач показано, что применение к процессу охлаждения найденного оптимального управления позволяет снизить технологические остаточные напряжения на порядок по сравнению с охлаждением изделия без управления.

Ключевые слова: *оптимальное управление, целевая функция, задача термовязкоупругости, стеклующийся полимер.*

Введение

Актуальной проблемой производства изделий из полимерных материалов является улучшение их прочностных характеристик, которые во многом обусловлены величиной технологических остаточных напряжений [1, 2]. Последние неизбежно возникают в процессе охлаждения, являющемся неотъемлемым этапом изготовления изделий из стеклующихся полимеров.

Ввиду того, что конструкции из полимерных материалов применяются повсеместно, в том числе в авиастроении, на крупных электростанциях, в химическом производстве, технологические напряжения в них могут стать причиной техногенных аварий и разрушений.

Предложенная работа посвящена разработке методики оптимального управления процессом охлаждения изделий из стеклующихся полимеров с целью снижения остаточных напряжений, возникающих в процессе производства.

1. Постановка задачи

1.1 Постановка задачи оптимального управления

Целью управления является снижение технологических остаточных напряжений. В качестве критерия оптимизации выбрана максимальная интенсивность остаточных напряжений:

$$F = \max_{x \in V} \sigma_i \left(\mathbf{x}, U \right) \to \min, \quad \mathbf{x} \in V, \tag{1}$$

где $\boldsymbol{\sigma}_i = I_2 \left(\boldsymbol{\sigma} \right)$.

Процесс управления осуществляется при помощи регулирования температуры окружающей среды во время охлаждения изделия.

Функция управления $U \left(\mathbf{p}, \tau \right)$, описывает зависимость температуры окружающей среды от времени:

$$U \left(\mathbf{p}, \tau \right) = T_c \left(\mathbf{p}, \tau \right), \tag{2}$$

где $\mathbf{p}$ – вектор параметров управления.

Задача оптимизации процесса охлаждения изделий из стеклующихся полимеров с целью снижения остаточных напряжений может быть сформулирована следующим образом: найти параметры $\mathbf{p}$ функции управления $U(\mathbf{p},\tau)$, обеспечивающие минимум критерия (1) при ограничениях, накладываемых условиями прямой задачи и технологией процесса.

В качестве прямой задачи выступает задача термовязкоупругости, которая заключается в определении напряженно деформированного состояния при заданной температуре среды.

1.2 Математическая постановка задачи термовязкоупругости

Математическая постановка краевой задачи термовязкоупругости включает уравнения нестационарной задачи теплопроводности (3) – (5), уравнения равновесия (6), соотношения Коши (7), граничные условия (8), (9) и физические соотношения (10).

$$c\rho\dot{T}(\mathbf{x},t)=\lambda\Delta T(\mathbf{x},t),\ \mathbf{x}\in V,\ t\in[0,t_K], \tag{3}$$

$$T(\mathbf{x},0)=T_H(\mathbf{x}),\quad \mathbf{x}\in V\cup S, \tag{4}$$

$$\lambda\mathbf{n}\cdot\mathrm{grad}T(\mathbf{x},t)=-h\left(T(\mathbf{x},t)-T_c\right),\ \mathbf{x}\in S,\ t\in[0,t_K], \tag{5}$$

где c,ρ,λ,h – соответственно теплоемкость, плотность, теплопроводность и коэффициент теплоотдачи в окружающую среду; $\mathbf{x}$ – радиус-вектор произвольной точки области $V\cup S$; $\mathbf{n}$ – вектор единичной внешней нормали к границе S; t_k – время окончания процесса охлаждения, T_H,T_c – начальная температура и температура среды.

$$div\boldsymbol{\sigma}(\mathbf{x},t)=0,\quad \mathbf{x}\in V,\quad t\in[0,t_K], \tag{6}$$

$$2\boldsymbol{\varepsilon}(\mathbf{x},t)=\nabla\mathbf{u}(\mathbf{x},t)+\mathbf{u}(\mathbf{x},t)\nabla\quad \mathbf{x}\in V,\quad t\in[0,t_K], \tag{7}$$

$$\boldsymbol{\sigma}(\mathbf{x},t)\cdot\mathbf{n}(\mathbf{x})=0,\quad \mathbf{x}\in S_\sigma,\quad t\in[0,t_K], \tag{8}$$

$$\mathbf{u}(\mathbf{x},t)=\mathbf{U}(\mathbf{x},t),\quad \mathbf{x}\in S_u,\quad t\in[0,t_K]. \tag{9}$$

Для описания термомеханического поведения материала использована модель, предложенная в работах [3, 4]. Для рассматриваемого полимера существует переходный процесс стеклования, который характеризуется степенью застеклованности $N(T(t))$, $(0\le N\le 1)$, показывающей «завершенность» процесса стеклования при температуре $T(t)$.

$$\begin{aligned}\boldsymbol{\sigma}(t)=&\left[\mathbf{K}_1(T(t))-\frac{2}{3}\mathbf{G}_1(T(t))\right]\cdot\cdot\Theta(t)\mathbf{g}+2\mathbf{G}_1(T(t))\cdot\cdot\boldsymbol{\varepsilon}(t)-\\&-3\mathbf{K}_1(T(t))\cdot\cdot\int_{T_H}^{T(t)}\boldsymbol{\alpha}(T)dT(\tau)+\left[\mathbf{K}_2(T(t))-\frac{2}{3}\mathbf{G}_2(T(t))\right]\cdot\cdot\\&\cdot\cdot\int_{T_H}^{T(t)}\left[\Theta(t)-\Theta^*(\tau)\right]\mathbf{g}dN(T(\tau))+2\mathbf{G}_2(T(t))\cdot\cdot\int_{T_H}^{T(t)}\left[\boldsymbol{\varepsilon}(t)-\boldsymbol{\varepsilon}^*(\tau)\right]dN(T(\tau))-\\&-3\mathbf{K}_2(T(t))\cdot\cdot\int_{T_H}^{T(t)}\left[\int_{T_H}^{T(t)}\boldsymbol{\alpha}(T(s))dT(s)-\int_{T_H}^{T(\tau)}\boldsymbol{\alpha}(T(s))dT(s)\right]dN(T(\tau)),\end{aligned} \tag{10}$$

где $\mathbf{u},\mathbf{f}$ – векторы перемещений и массовых сил области V; S_σ, S_u – части границы S, на которой заданы соответственно поверхностные силы и перемещения; $\mathbf{G_1},\mathbf{G_2},\mathbf{K_1},\mathbf{K_2}$ – тензоры сдвиговых и объемных модулей материала в высокоэластическом и застеклованном состояниях; $\boldsymbol{\alpha}(\mathbf{T})$ – тензор коэффициентов линейного температурного расширения; T – температура; t,τ – время.

Зависимость степени застеклованности от температуры в соответствии с экспериментальными результатами [3] и исследованиями, проведенными в работе [4], может быть записана в виде (11), (12), отдельно для шаровых и девиаторных частей тензоров

напряжений и деформаций. Для девиаторной и шаровой частей тензоров зависимость степени застеклованности от температуры будет различной:

$$\frac{dN'}{dT(t)} = \frac{-1}{\sqrt{2\pi}\gamma'} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{T(t) - T_g'}{\gamma'} \right)^2 \right], \tag{11}$$

$$\frac{dN''}{dT(t)} = \frac{-1}{\sqrt{2\pi}\gamma''} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{T(t) - T_g''}{\gamma''} \right)^2 \right]. \tag{12}$$

2. Методика решения задачи

В качестве управления могут выступать различные функции. Например, в работе [5] рассмотрена функция управления в виде кусочно-постоянной зависимости температуры окружающей среды от времени.

В настоящей работе в качестве функции управления была выбрана экспоненциальная:

$$U(\mathbf{p}, \tau) = a \cdot e^{b\tau} + c, \tag{13}$$

где компонентами вектора параметров управления являются коэффициенты функции – a, b, c. По технологическим и экономическим соображениям введено ограничение на продолжительность процесса охлаждения.

Для реализации предложенной методики решения задачи нестационарной термовязкоупругости разработаны программы, учитывающие особенности математической постановки задачи [4, 6, 7]. Решение задачи термовязкоупругости проводилось с помощью метода конечных элементов с линейной аппроксимацией перемещений [8].

Для проверки правильности реализации методики решения задачи термовязкоупругости и корректности работы программ была решена тестовая задача, описанная в [9]. Максимальная относительная погрешность численного решения составила 1.6%, что позволяет говорить о верности разработанной методики и корректной работе программы.

Решение задачи оптимального управления процессом охлаждения цилиндра для предложенной функции управления (13) сводится к решению задачи нахождения вектора оптимальных параметров функции управления. Для решения данной задачи оптимизации использовался метод Нелдера-Мида [10]. Для исследования единственности решения поиск минимума проводился из нескольких начальных приближений.

3. Результаты численного эксперимента

Применение методики, представленной в данной работе, продемонстрировано на примере цилиндра из аморфного полимера (эпоксидная смола ЭДТ-10) длиной – $0.14\,м$ и диаметром – $0.08\,м$. Цилиндр разогрет до температуры $140^{\circ}C$, превышающей температуру стеклования, а затем охлаждается до комнатной температуры $20^{\circ}C$.

В процессе охлаждения в теле возникают остаточные напряжения, отрицательно влияющие на прочностные свойства изделия. Расчетная схема цилиндра представлена на рис. 1.

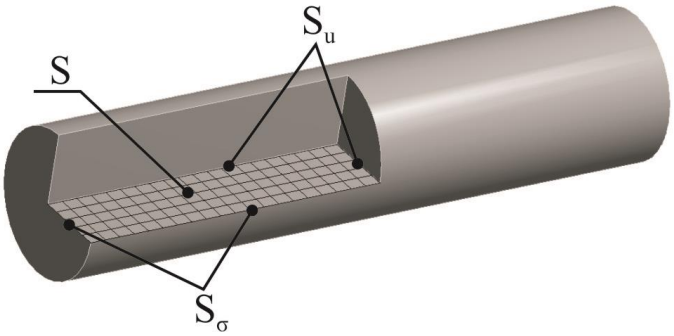


Рис. 1 – Расчетная схема

Рассматривалась четверть центрального сечения цилиндра, занимающая область V с границей S. Предполагается, что в процессе производства на изделие оказывается только температурное воздействие. С внешней поверхности цилиндра происходит теплоотдача в окружающую среду.

Расчет напряжений в цилиндре при естественном процессе охлаждения без управления был произведен ранее [5]. Результаты расчета показаны на рис. 2. Максимальная интенсивность напряжений составила $1.09 \cdot 10^7 Па$ при времени полного охлаждения 1.5 часа.

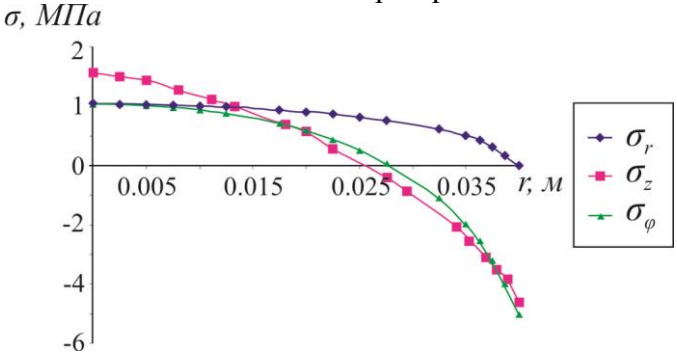


Рис. 2 – Распределение остаточных напряжений по радиусу в центральном сечении цилиндра при естественном охлаждении

При выборе в качестве управления экспоненциальной функции были найдены следующие параметры управления: $a = -5, b = 0.65, c = 98$. Оптимальная функция управления имеет вид $F = -5e^{0.65} + 98$ и представлена на рис. 3. Изменение остаточных напряжений по радиусу цилиндра отображено на рис. 4.

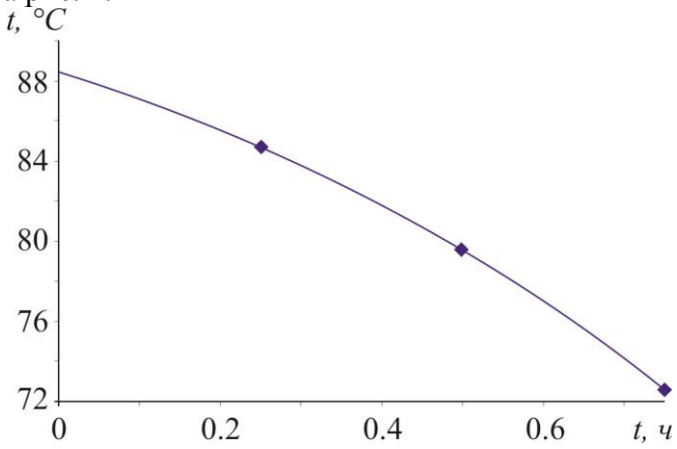


Рис. 3 – Вид оптимальной функции управления

При найденных параметрах оптимального управления были получены следующие результаты: максимальная интенсивность остаточных напряжений – $0.847 \cdot 10^6 Па$; время полного охлаждения – 2.2 часа. По сравнению с охлаждением без управления максимальная интенсивность остаточных напряжений снизилась в 13 раз при увеличении времени охлаждения в 1.5 раза.

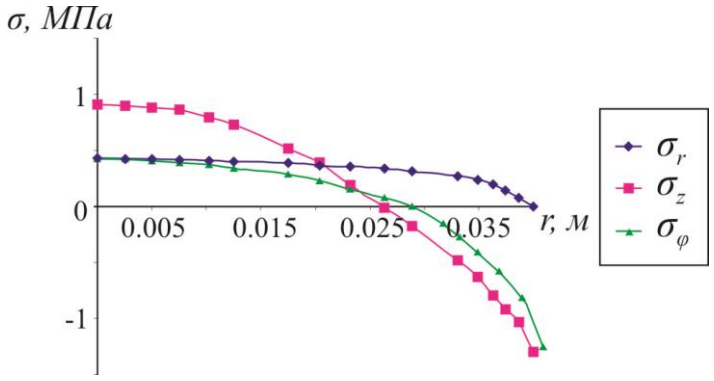


Рис. 4 – Распределение остаточных напряжений по радиусу в центральном сечении цилиндра при экспоненциальной функции управления

Заключение

Разработана методика оптимального управления процессом охлаждения изделий из стеклующихся полимеров с целью снижения технологических остаточных напряжений. Для реализации предлагаемой методики составлен ряд компьютерных программ, учитывающих особенности математической постановки задачи. Анализ результатов показал, что использование функции управления в виде экспоненциальной зависимости температуры окружающей среды от времени позволяет добиться существенного снижения остаточных напряжений.

Список литературы

1. *Бояршинова И.Н., Столбов В.Ю.* Оптимизация процесса формирования остаточных напряжений при поверхностной обработке // Известия Академии Наук. Механика твердого тела. – 2004. – №3. – С. 74-81.

2. *Бояршинова И.Н., Колмогоров Г.Л.* Остаточные напряжения в поверхностном слое деталей после дробеструйной обработки // Вестник ПГТУ. Механика. Пермь. – 1995. – №2. – С. 18-25.

3. *Матвеенко В.П., Сметанников О.Ю., Труфанов Н.А., Шардаков И.Н.* Термомеханика полимерных материалов в условиях релаксационного перехода. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. – 176 с.

4. *Бояршинова И.Н.* Применение методов оптимизации для определения характеристик термомеханического поведения стеклующихся полимеров // Вестник ПНИПУ – Механика. – 2012. – №1. – С. 7-15.

5. *Дробинин М.М., Бояршинова И.Н.* Об одной методике оптимального управления процессом охлаждения изделий из стеклующихся полимеров с целью снижения остаточных напряжений // Вестник ПНИПУ – Прикладная математика и механика. – 2012. – №10. – С. 52-63.

6. *Басин М.Е., Бояршинов М.Г.* Математическая модель процессов течения смазочного слоя и упругопластического деформирования изделия // Инженерно-физический журнал. – 2008. – №3. – С. 538-547.

7. *Басин М.Е., Бояршинов М.Г., Колмогоров Г.Л.* Методика моделирования Упругопластического деформирования длинномерного изделия в режиме гидродинамического трения // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2010. – №3. – С. 45-51.

8. *Сегерлинд Л.* Применение метода конечных элементов. – М.: Мир, 1979. – 393 с.

9. *Ильюшин А.А., Победря Н.Н.* Основы математической теории термовязкоупругости. – СПб.: «Наука», 1970. – 283 с.

10. *Бояршинов А.М., Бояршинова И.Н.* Критерии оптимальности в задаче управления инвестиционным портфелем // Научно-технические ведомости СПбГПУ. – 2012. – №3(149). – С. 97-99.

01.01.06

В.В. Дружинин, Т.В. Алексюнина, В.С. Холушкин

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

ДЕЛЕНИЕ ЧИСЕЛ С ПОМОЩЬЮ ВЕКТОРА ПАСКАЛЯ

Опираясь на функцию делимости Паскаля, введены два новых вектора натурального числа: антье-вектор и вектор делимости, а также структурная матрица числа. Предложен новый способ деления чисел с получением неполного (целого) частного и остатка, который в ряде случаев требует меньших операций, чем традиционный метод деления уголком.

Ключевые слова: *метод Паскаля, частное, остаток, структурная матрица*.

1. Паскаль [1, 2, 3] предложил следующий метод определения делимости натурального числа A на B. Запишем число $A = a_{n-1}a_{n-2}\dots a_1a_0 = \sum_{k=0}^{n-1} 10^k \cdot a_k$ в виде вектора $\vec{A} = \{a_0; a_1; \dots; a_{n-1}\}$. Например, A = 6875 имеет вектор $\vec{A} = \{5; 7; 8; 6\}$. Делителю B сопоставляется вектор Паскаля $\vec{C}(B) = \{r_0; r_1; \dots; r_n; \dots\}$, который имеет бесконечное число компонент r_k, каждая из которых есть остаток при делении 10^k на B. При этом всегда: $r_0 = 1$; если $10^n \le B < 10^{n+1}$, то при $1 \le k < 10^{n+1}$ $r_k = 10^k$; $0 \le r_k < B$. Число различных значений r_k не превышает $(B-1)$, но может быть и меньше. В теории сравнений $10^k \equiv r_k (\mathrm{mod}\ B)$.

Например, вектор Паскаля $\vec{C}(7) = \{1; 3; 2; 6; 4; 5; 1; 3; 2; 6; 4; 5; 1; \dots\}$.

По Паскалю, если скалярное произведение векторов $D = (\vec{A}, \vec{C}(B)) = \sum_{k=0}^{n-1} a_k r_k$ кратно (не кратно) B, то и A кратно (не кратно) B. Это качественный результат. Вектор Паскаля позволяет найти и остаток при делении A на B. Например, при делении A = 6875 на B = 7, D = 78 = 7·11 + 1, откуда следует, $6875 \equiv 1 (\mathrm{mod}\ 7)$. Взяв $D' = (\vec{D}, \vec{C}(B)) = 29$, $D'' = \left(\overrightarrow{D'}, \vec{C}(B)\right) = 15, D''' = \left(\overrightarrow{D''}, \vec{C}(B)\right) = 8,$ получаем тот же остаток «1». В дальнейшем метод Паскаля был использован для нахождения признаков делимости на «3», «9», «101» и на другие числа.

2. Рассмотрим структуру вектора Паскаля. Из теории сравнений следует, что

$$10r_k \equiv r_{k+1} (\mathrm{mod}\ B);\ \ r_k \cdot r_{k+t} \equiv r_{2k+t} (\mathrm{mod}\ B)\ . \qquad (1)$$

Отсюда видно, что найдя остаток r_k, можно сравнительно быстро, не деля 10^m на B, найти остаток r_m .При этом число различных r_k, образующих повторяющийся цикл чисел, часто состоящий из двух равных по длине полуциклов, причем второй полуцикл равен B минус первый полуцикл. Например, для $\vec{C}(7)$ цикл есть $(1; 3; 2; 6; 4; 5)$, первый полуцикл $((1; 3; 2))$, второй полуцикл $((6; 4; 5)) = 7 - ((1; 3; 2))$. Поэтому для задания $\vec{C}(B)$ достаточно указать первый полуцикл, который мы будем обозначать как $((r_k; r_{k+1}; \dots r_{k+t}))$ – через двойные скобки. По первому полуциклу строится второй полуцикл, их объединение дает полный, бесконечное число раз повторяющийся, цикл $(r_k; r_{k+1}; \dots r_{k+t}; r_{k+t+1}; r_{k+t+2}; \dots r_{k+2t})$.

Таким образом, вектор Паскаля для B = 7 запишется так $\vec{C}(7) = \{((1; 3; 2))\} = \{(1; 3; 2; 6; 4; 5)\} = \{1; 3; 2; 6; 4; 5; 1; 3; 2; 6; 4; 5; 1; 3; \dots\}$.

Когда B есть произведение простых чисел, кроме «2» и «5», цикл не делится на такие полуциклы. Например, $\vec{C}(7 \cdot 3 = 21) = \{(1; 10; 16; 13; 4; 19)\}$.

Если r_k и r_m таковы, что $r_k \cdot r_m < B$, то $r_k \cdot r_m = r_{k+m}$ есть соответствующий элемент $\vec{C}(B)$. Например, при B = 7 r_1= 3, r_2= 2, $r_1 \cdot r_2 = r_3 = 6$.

Кроме повторяющихся циклов в векторе Паскаля иногда перед первым циклом стоят неповторяющиеся потом числа $[r_0; r_1; \dots; r_{\beta-1}]$. Например, для B = 52 это три числа $[r_0 = 1; r_1 = 10; r_2 = 48] = [1; 10; 48]$. Вектор Паскаля

$$\vec{C}(52) = \{[1; 10; 48]((12; 16; 4))\} = \{[1; 10; 48](12; 16; 4; 40; 36; 48)\} =$$
$$=\{1; 10; 48; 12; 16; 4; 40; 36; 48; 12; 16; 4; 40; 36; 48; 12; 16; \dots.\}. \quad (2)$$

Структура этого вектора внешне напоминает железнодорожный состав, идущий справа налево. Во главе стоит «паровоз» $[1; 10; 48]$ из неповторяющихся далее чисел, за которым идут одинаковые «вагоны» $(12; 16; 4; 40; 36; 48)$ или «полувагоны» $((12; 16; 4))$. Интересно, что у простых чисел в векторах Паскаля «паровозы» не возникают, у них есть только «вагоны».

Наличие «паровоза» и «вагонов» позволяет по усеченной записи $\vec{C}(B)$ быстро определить остаток при делении 10^m на B. Обозначим длину «паровоза» через β(B), а длину цикла через 2t(B). Если β (B) = 0, то «паровоза» нет. Вначале находится остаток $r(m, B)$ при делении $(m - \beta(B))$ на 2t(B) из равенства $(m - \beta(B)) = n \cdot 2t(B) + r(m, B)$. Далее находим d = β (B) + $r(m, B)$. Число d в векторе $\vec{C}(B)$ при $r_d = r_k$ указывает остаток при делении 10^m на B.

Пример. Пусть m = 24, B = 52, β(52) = 3, 2t = 6, 21 = 3·6 + 3, r (24,52) = 3, d = 6, $r_d(52) = r_6(52) = 40$. Таким образом, остаток при делении $A = 10^{24}$ на B = 52 равен «40».

3. Рассмотрим приемы нахождения векторов Паскаля. Если $B = 2^n$, то у $\vec{C}(2^n)$ имеется «паровоз» из n чисел $[1; 10; 10^2; \dots; 10^k; r_{k+1}; \dots; 2^{n-1}]$, где $k \le n \cdot \lg 2$. Цикл есть (0), т.е. после «паровоза» в $\vec{C}(2^n)$ стоит набор нулей. Например, $\vec{C}(2^6) = \{1; 10; 36; 40; 16; 32; 0; 0; \dots\}$.

У чисел $B = 2^n \cdot p$, где «p» тут и далее простое число, «паровоз» состоит из n или более чисел, после которого идет цикл той же длины, что и у $\vec{C}(p)$. Например, $\vec{C}(13) = \{((1; 10; 9))\}$, $\vec{C}(2 \cdot 13) = \{[1]((10; 22; 12))\}$, $\vec{C}(16 \cdot 13) = \{[1; 10; 100; 168]((48; 64; 16))\}$.

Приведем векторы Паскаля для некоторых других чисел: $\vec{C}(3) = \vec{C}(9) = \{(1)\}$; $\vec{C}(5) = \vec{C}(10) = \{[1](0)\}$; $\vec{C}(6) = \{[1](4)\}$; $\vec{C}(11) = \{(1; 10)\} = \{((1))\}$; $\vec{C}(12) = \{[1; 10](4)\}$; $\vec{C}(13) = \{((1; 10; 9))\}$; $\vec{C}(14) = \{[1]((10; 2; 6))\}$; $\vec{C}(15) = \{[1](10)\}$; $\vec{C}(17) = \{((1; 10; 15; 14; 4; 6; 9; 5))\}$.

4. В этом разделе введем новый тоже бесконечный антье-вектор делителя B $\vec{M}(B) = \{m_0; m_1; m_2; m_3; m_4; \dots\}$. Компонента m_k этого вектора равна целой части дроби $[10^k/B]$. Свойства $\vec{M}(B)$ следующие: всегда $m_0 = 0$; $0 \le m_k < 10$; цепочки чисел m_k образуют повторяющиеся циклы той же длины, что и циклы $\vec{C}(B)$; расчет можно осуществлять по рекуррентной формуле через компоненты вектора Паскаля

$$m_{k+1} = (10r_k - r_{r+1})/B. \quad (3)$$

Например, $\vec{M}(7) = \{0; 1; 4; 2; 8; 5; 7; 1; 4; 2; \dots\} = \{[0]; (1; 4; 2; 8; 5; 7)\}$.

Таким образом, находя вектор Паскаля, можно одновременно стоить и антье-вектор.

Далее объединим (на примере B = 7) оба вектора Паскаля и вектор-антье в матрицу

$$\alpha(B) = \left(\begin{Bmatrix} m_k \\ r_k \end{Bmatrix}\right) = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 4 & 2 & 8 & 5 & 7 & 1 & 4 & \dots \\ 1 & 3 & 2 & 6 & 4 & 5 & 1 & 3 & 2 & \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} [0] & (1 & 4 & 2 & 8 & 5 & 7) \\ (1 & 3 & 2 & 6 & 4 & 5) & (1 &) \end{pmatrix}. \quad (4)$$

Назовем эту матрицу из двух бесконечных строк – структурной матрицей числа. Это новый, нами предложенный объект, не описанный в литературе. Верхняя строка – антье-вектор, нижняя строка – вектор Паскаля. α(B) сразу дает полный результат деления 10^n на B, т.е. его целую часть (неполное частное) и остаток по следующей формуле

$$10^n/B = \sum_{k=0}^{n} 10^{n-k} m_k + r_n/B = m_1 m_2 \dots m_n + r_n/B\,. \quad (5)$$

Это значит, что целое частное от деления записано прямо в верхней строке $\alpha(B)$ последовательно из (n + 1) цифры. Нули слева опускаются. Числитель r_n остатка находится прямо под последним m_n. Например, $10^4/7 = 1428 + 4/7;\ 10^7/7 = 1428571 + 3/7;\ 10^{14}/7 = 14285714285714 + 2/7.$

Заметим, что антье-вектор $\vec{M}(B)$ в своей структуре также имеет неповторяющиеся компоненты – «паровоз» – и повторяющиеся циклы той же длины, которые выделяются скобками.

Например, $\vec{M}(52) = \{[0;0;1](9;2;3;0;7;6)\}.\vec{C}(52) = \{[1;10;48](12;16;4;40;36;48)\}.$ $10^9/52 = 19230769 + 12/52.$

5. Для того чтобы разделить на B число A, а не только 10^n, мы введем еще один вектор числа $\vec{S}(B) = \{s_0; s_1; s_2; \dots; s_n; \dots\}$, который назовём вектором деления. Компоненты этого вектора находятся из антье-вектора $\vec{M}(B)$ по следующему правилу: $s_0 = 0$; $s_1 = m_1$; $s_2 = 10m_1 + m_2$;… . В общем случае

$$s_n = \sum_{k=1}^{n} 10^{n-k} m_k = m_1 m_2 \dots m_n. \quad (6)$$

Сам результат деления записывается в виде суммы двух скалярных произведений

$$A/B = \left(\vec{A}(B), \vec{S}(B)\right) + \left(\vec{A}(B), \vec{C}(B)\right)/B = \sum_{k=1}^{n} a_k \cdot s_k + \left(\sum_{k=0}^{n} a_k \cdot r_k\right)/B. \quad (7)$$

Сразу же заметим, что остаток содержится во втором слагаемом, но не обязательно в чистом виде. Пример 1. Разделим A = 25 на B = 7. Из (4) берем только по два числа слева в нижней и верхней строке: $s_0 = 0, s_1 = 1, r_0 = 1, r_1 = 3, a_0 = 5, a_1 = 2.$ $25/7 = 2 + 11/7 = 3 + 4/7.$

Пример 2. Разделим $A = 1\underbrace{00\dots0}_{100\text{ раз}}5$ на B = 7. В скалярных произведениях (7) есть только по два слагаемых. $\left(\vec{A}(B), \vec{S}(B)\right) = 5 \cdot 0 + 1 \cdot s_{101}$. Чтобы найти s_{101}, надо выписать верхнюю строку матрицы (4) длиной в 102 цифры. Первый ноль мы отбрасываем, остается 101 число, состоящее из 16 повторений цикла $(1;4;2;8;5;7) - 96$ цифр, плюс еще пять цифр – число 14285. Второе скалярное произведение $(\vec{A}(B), \vec{C}(B)) = 5 \cdot c_0 + 1 \cdot c_{101}$. Так как $102 = 6 \cdot 17$, то $c_{101} = 5$ - последняя цифра цикла. $\left(\vec{A}(B), \vec{C}(B)\right)/7 = 1 + 3/7$. Итак, $1\underbrace{00\dots0}_{100\text{ раз}}5/7 = \underbrace{142857}_{16\text{ раз}}14286 + 3/7.$

4. При работе с большими числами деление по предложенной методике занимает значительно меньше арифметических операций, чем деление уголком, даже при расчете тут же векторов Паскаля и вектора деления. Если заранее создать базу структурных матриц натуральных чисел, то самая затратная по времени в компьютерных расчетах операция деления резко сократится. Это связано с тем, что предварительная работа по делению уже проделана. Наши численные эксперименты показали, что время деления сокращается примерно в 10-100 раз.

Авторы благодарят старшего научного сотрудника Института математики РАН им. В.А. Стеклова М.А. Королева за прочтение работы и ряд конструктивных замечаний.

Список литературы

1. *Сизый С.В.* Лекции по теории чисел. – М., ФИЗМАТЛИТ, 2007.
2. *Виноградов И.М.* Основы теории чисел. – М., Наука, 1981.
3. *Дружинин В.В.* Детерминантный признак делимости, Саров, Альфа, 2012.

01.02.04

Р.Г. Куликов к.ф-м.н., А.А. Звягин

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
факультет прикладной математики и механики,
кафедра вычислительной математики и механики,
Пермь, azvyagin@hotmail.com

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧИ ОДНООСНОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ В РАМКАХ НЕЛИНЕЙНОЙ ТЕОРИИ УПРУГОСТИ

В работе рассматривается применение технологии параллельного программирования к решению краевых задач нелинейной теории упругости с использованием подхода, основанного на линеаризации вариационной постановки. Рассматривается построение конечномерного аналога с использованием метода конечных элементов. Приводятся зависимости коэффициента ускорения от размерности алгебраического аналога и количества вычислительных процессов, полученные при решении одномерной краевой задачи.

Ключевые слова: *нелинейная теория упругости, параллельные вычисления, метод конечных элементов*.

Введение

В настоящее время все большее внимание уделяется задачам механики в нелинейной постановке. Число точных решений задач такого рода невысоко и построение решения возможно только в простейших случаях. Для решения этой проблемы исследователи прибегают к различным методикам, позволяющим строить эквивалентные линейные соотношения, поддающиеся решению классическими методами [1], [2]. Однако процедуры численного решения подобных задач предъявляют повышенные требования к вычислительным ресурсам, и зачастую время получения решения неприемлемо высоко.

В последнее время все более широкое применение получают технологии параллельных вычислений, которые предполагают одновременное использование всех аппаратных вычислительных мощностей и позволяют существенно повысить эффективность распределения нагрузки на компоненты ЭВМ.

В данной работе рассматривается вариант применения параллельных вычислительных технологий к решению краевой задачи в рамках нелинейной теории упругости с использованием подхода, основанного на линеаризации исходной постановки.

Постановка задачи

Рассмотрим процесс деформирования упругого тела, подверженного действию объемных сил. Воспользуемся слабой вариационной постановкой [3]:

$$\int_{V_o} \mathbf{P}_{II} \cdot\cdot \delta\mathbf{C}\, dV_o = \int_{V_o} \rho_* \mathbf{f} \delta\mathbf{u} dV_o\,, \qquad (1)$$

где $\mathbf{P}_{II}$ – тензор напряжений Пиола - Кирхгофа II рода; $\delta\mathbf{C}$ – вариация тензора деформаций Коши - Грина; $\delta\mathbf{u}$ – вариация вектора перемещений; $\mathbf{f}$ – вектор объемных сил; V_o, ρ_* – соответственно объем тела и плотность, определенные в начальной конфигурации.

Геометрические соотношения связывают тензор деформаций Коши-Грина $\mathbf{C}$ с вектором перемещений $\mathbf{u}$ [3]:

$$\mathbf{C} = \nabla\mathbf{u} + \left(\nabla\mathbf{u}\right)^T + \nabla\mathbf{u}\left(\nabla\mathbf{u}\right)^T, \qquad (2)$$

где ∇ - оператор Гамильтона, определенный относительно начальной конфигурации.

Физические соотношения, однозначно определяющие связь тензора напряжений Пиола-Кирхгофа II рода $\mathbf{P}_{II}$ с тензором деформаций Коши-Грина, могут быть представлены в следующем виде:

$$\mathbf{P}_{II} = \frac{\partial W}{\partial \mathbf{C}}, \tag{3}$$

где W – потенциал, конкретный вид которого зависит от исследуемого материала. В общем случае физические соотношения представляют собой нелинейные выражения относительно компонент тензора деформаций Коши-Грина.

Линеаризация задачи

При построении конечномерного аналога задачи (1) неизбежно получение нелинейной алгебраической задачи, решение которой сопряжено с определенными трудностями. В данной работе рассматривается применение подхода, основанного на линеаризации постановки (1).

Линеаризация геометрических соотношений выполняется путем разложения исходного движения тела на совокупность малых движений, вызываемых малыми приращениями внешней нагрузки. Согласно идее наложения малых деформаций на конечные [4], движение тела из начальной конфигурации в конечную представимо в виде суперпозиции движений тела через промежуточные конфигурации. Таким образом, перемещения тела в произвольный момент времени представимы в виде суммы накопленных перемещений $\mathbf{U}$ и малых перемещений $\mathbf{u}$, описывающих переход из промежуточной конфигурации в конечную.

В результате применения процедуры линеаризации с учетом малости $\mathbf{u}$ тензор деформаций Коши-Грина может быть представлен в виде [4]:

$$\mathbf{C} = \mathbf{C}_o(\mathbf{U}) + \Delta\mathbf{C}(\mathbf{u}), \tag{4}$$

$$\mathbf{C}_o = \frac{1}{2}\left(\nabla\mathbf{U} + (\nabla\mathbf{U})^T + \nabla\mathbf{U}(\nabla\mathbf{U})^T\right),$$

$$\Delta\mathbf{C}(\mathbf{u}) = \frac{1}{2}\left[\overset{o}{\nabla}\mathbf{u} + \left(\overset{o}{\nabla}\mathbf{u}\right)^T\right] + \frac{1}{2}\left[\overset{o}{\nabla}\mathbf{u}(\nabla\mathbf{U})^T + \left(\overset{o}{\nabla}\mathbf{u}\right)^T(\nabla\mathbf{U})^T + \nabla\mathbf{U}\overset{o}{\nabla}\mathbf{u} + \nabla\mathbf{U}\left(\overset{o}{\nabla}\mathbf{u}\right)^T\right] +$$

$$+ \frac{1}{2}\left[\nabla\mathbf{U}\overset{o}{\nabla}\mathbf{u}(\nabla\mathbf{U})^T + \nabla\mathbf{U}\left(\overset{o}{\nabla}\mathbf{u}\right)^T(\nabla\mathbf{U})^T\right],$$

где $\overset{o}{\nabla}$ - оператор Гамильтона, определенный относительно промежуточной конфигурации.

Линеаризация физических соотношений производится путем использования разложения соотношений (3) в ряд Тейлора в окрестности $\mathbf{C_0}$ с удержанием слагаемых нулевого и первого порядка. В общем виде линеаризованные соотношения могут быть представлены в виде:

$$\mathbf{P}_{II} = \mathbf{P}_{II\,o}(\mathbf{C_0}) + {}^4\mathbf{D}(\mathbf{C_0}) \cdot\cdot \Delta\mathbf{C}, \tag{5}$$

где ${}^4\mathbf{D}$ – тензор четвертого ранга «касательных жесткостей», компоненты которого определяются с учетом $\mathbf{C_0}$.

С учетом соотношений (4), (5) вариационное уравнение (1) принимает вид:

$$\int_{V_o} \left(\mathbf{P}_{II\,o} + \Delta\mathbf{P}_{II}\right) \cdot\cdot\, \delta(\Delta\mathbf{C})\, dV_o = \int_{V_o} \rho_* \mathbf{f}_t \delta(\mathbf{u})\, dV_o, \tag{6}$$

где $\mathbf{f}_t$ – вектор объемных сил, обеспечивающий достижение текущей конфигурации.

Описанный выше метод линеаризации позволяет свести решение исходной нелинейной задачи (1) к последовательности решений линейных задач (6) относительно вектора приращения перемещений, соответствующего приращению внешней нагрузки.

Конечно-элементная аппроксимация

Среди существующих подходов численного решения краевых задач в настоящее время наиболее широко применяется метод конечных элементов [5], который и был выбран в настоящей работе для построения конечномерного аналога рассматриваемой задачи.

Аппроксимация соотношения (6) для конечного элемента приводит к получению системы линейных алгебраических уравнений вида:

$$\int_{V_o^e} \left[B(\{U\})\right]^T \left[D(\{U\})\right] \left[B(\{U\})\right] dV_o^e \{u\} = -\int_{V_o^e} \left[B(\{U\})\right]^T \{p_o\}\, dV_o^e + \int_{V_o^e} \rho_* \left[\psi\right]^T \{f\}\, dV_o^e , \quad (7)$$

где $\{U\}$ и $\{u\}$ векторы узловых перемещений элемента, соответствующие переходам из начальной конфигурации в промежуточную и из промежуточной в конечную; $\left[B(\{U\})\right]$ – матрица градиентов, компоненты которой зависят от компонент вектора накопленных перемещений элемента; $\left[D(\{U\})\right]$ – матрица касательных жесткостей материала; $[\psi]$ - матрица функций форм элемента. Дальнейшая процедура ансамблирования [5] приводит к формированию глобальной системы линейных алгебраических уравнений, причем глобальная матрица жесткости переопределяется на каждом шаге алгоритма.

Построение параллельного алгоритма

В данной работе предлагается распределить данные путем условного разделения всей совокупности конечных элементов на несколько групп по числу параллельно работающих процессов. Таким образом, появляется возможность одновременного формирования нескольких элементных матриц. Дальнейшая процедура ансамблирования производится каждым вычислительным процессом независимо и только для собственной группы элементных матриц. В результате каждый процесс отвечает только за некоторую группу конечных элементов и соответственно обрабатывает часть глобальной матрицей жесткости, хранящейся в его адресном пространстве.

В силу разреженности глобальной матрицы жесткости в данной работе применялась разреженная строчная схема хранения матрицы RR(C)U [6], что позволило существенно повысить эффективность вычислений. Для решения глобальной системы уравнений использовался итерационный метод сопряженных градиентов.

Реализация параллельного алгоритма была построена на основе интерфейса передачи сообщений между процессами MPI (Message Passing Interface) [8]. Данный инструмент позволяет использовать программный продукт на различных аппаратных архитектурах, не требуя дополнительного изменения алгоритма и его реализации.

Для исследования эффективности применения предложенного подхода к решению задач рассматриваемого класса рассматривалась задача одноосного сжатия образца в абсолютно жестком стакане плотно пригнанным поршнем. Вектор перемещений имеет только одну ненулевую компоненту в направлении оси стержня. Решение задачи производилось в декартовой системе координат в рамках теории конечных деформаций.

Линеаризованная форма связи компоненты тензора деформаций Коши-Грина c_{11} с перемещениями в соответствии с (4) примет вид:

$$c_{11} = \frac{\partial U_1}{\partial x_1} + \frac{1}{2}\left(\frac{\partial U_1}{\partial x_1}\right)^2 + \left(1 + \frac{\partial U_1}{\partial x_1}\right)\frac{\partial u_1}{\partial x_1}$$

Для построения физических соотношений был использован потенциал Пенга-Ланделла [7]:

$$W = \frac{1}{2}\mu\left(I_1 I_3^{-1/3} - 3\right) + \frac{1}{2}B\left(I_3^{1/2} - 1\right)^2,$$

где I_1, I_3 – соответственно первый и третий инварианты тензора меры деформаций Коши-Грина; μ – модуль сдвига; B – модуль объемного сжатия материала.

В соответствии с (5) линеаризованная форма для компоненты тензора напряжений Пиола-Кирхгофа II рода p_{11} примет вид:

$$p_{11} = p_{11}^{o} + \left(\left(-\frac{2\mu}{3} \right) \left(2I_3^{-4/3} + \left(-\frac{4}{3} \right) I_1 I_3^{-7/3} \right) + BI_3^{-3/2} \right) \Bigg|_{C_{11}^0} c_{11},$$

где $p_{11}^{o} = p_{11}^{o}\left(c_{11}^{o}\right)$ – напряжения, накопленные за предыдущие шаги нагружения; c_{11}, c_{11}^{0} – компоненты тензора деформаций Коши-Грина, отвечающие, соответственно, за накопленную и актуальную деформации.

При решении рассматриваемой задачи был использован одномерный двухузловой симплекс-элемент. Механические характеристики материала в пределах элемента полагались неизменными.

Площадь поперечного сечения стержня принималась равной 0,1м^2, длина 1м, величина внешней сжимающей нагрузки P=10^5 Па, модуль упругости материала E=10^5 Па, коэффициент Пуассона ν=0,3.

Численный эксперимент был поставлен на ЭВМ класса персональный компьютер, работающим под управлением шестиядерного процессора AMD® Phenom II X6 1075T. Программная реализация алгоритма решения линеаризованной задачи была произведена на языке программирования C#. Для обеспечения взаимодействия параллельных процессов использовался стандарт MPI [8].

В качестве критерия количественного анализа использовалось “ускорение” [8], равное отношению времени выполнения последовательного алгоритма ко времени выполнения параллельного алгоритма.

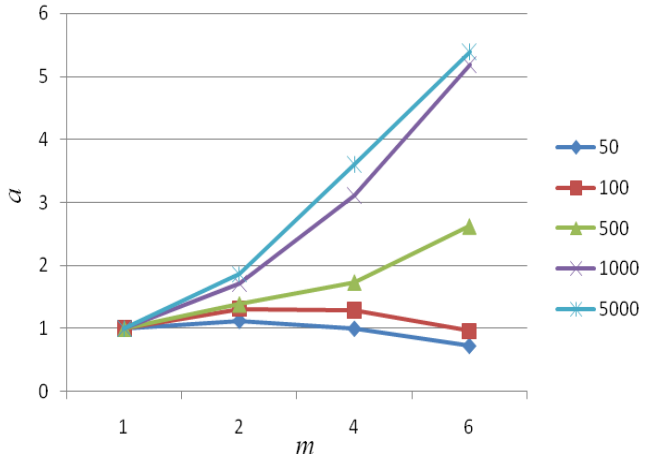


Рис. 1.- Зависимость ускорения параллельного алгоритма от числа процессов для задач разной размерности

На рис.1 представлены кривые зависимости величины коэффициента ускорения от числа используемых процессов для задач разной размерности. Наблюдается рост коэффициента ускорения с увеличением размерности задачи и числа используемых процессов. При использовании задач малой размерности (до 100 узловых неизвестных) наблюдается падение величины коэффициента ускорения, что обуславливается доминированием операций обмена данными между процессами в общей процедуре расчета.

Заключение

В работе представлены результаты численного решения задачи одноосного деформирования в рамках нелинейной теории упругости с использованием подхода, основанного на линеаризации исходной постановки. Предложена схема построения параллельного алгоритма на основе разделения данных по процессам. В рамках работы построена программная реализация параллельного алгоритма для задачи одноосного деформирования. На основе численного эксперимента с данной программой показана эффективность предложенного параллельного алгоритма применительно к решению задач нелинейной теории упругости.

Список литературы

1. *Куликова Т.Г.* К описанию деформирования кристаллизующегося полимерного материала с учетом больших деформаций. //Вестник Пермского Национального исследовательского Политехнического Университета. Механика. – Пермь, 2010 – №3. – С. 55-71.
2. *Садаков О.С., Щербакова А.О.* Учет геометрической нелинейности в расчетах неупругого деформирования конструкций. Декомпозиция деформации. //Вестник Южно-Уральского Государственного Университета. Серия: Математика. Механика. Физика. – Челябинск, 2010 – №30. – С. 45-50.
3. *Лурье А.И.* Нелинейная теория упругости. – М.: Наука, 1970. – 940с.
4. *Куликов Р.Г., Куликова Т.Г.* К вопросу определения деформированного состояния кристаллизующейся полимерной среды с учетом больших деформаций. //Вестник Пермского Национального исследовательского Политехнического Университета. Механика. – Пермь, 2012 – №1. – С. 62-72.
5. *Зенкевич О.* Метод конечных элементов в технике. – М.: Мир, 1975. – 541 с.
6. *Pissanetzky S.* Sparse Martix Technology. – NY.: Academic Press, 1984. – 312 с.
7. *Адамов А.А., Матвиенко В.П., Труфанов Н.А., Шардаков И.Н.* Методы прикладной вязкоупругости. – Е.: УрО РАН, 2003. – 411 с.
8. *Гергель В.П.* Теория и практика параллельных вычислений. – М.: Бином, 2007. – 424 с.

01.04.01

[1]Д.Г. Лазаренко, [2]В.А. Ружников, [2]В.Р. Агафонов, [2]Г.Э. Лазаренко, [2]С.М. Тулин

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

[2]Государственный научный центр Российской Федерации –
Физико-энергетический институт им. А.И. Лейпунского,
г. Обнинск, ecs@ippe.ru

РАЗРАБОТКА КОМПОЗИТНОГО НАНОСТРУКТУРИРОВАННОГО КОЛЛЕКТОРА ТЕРМОЭМИССИОННОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

Представлены результаты подготовки к экспериментальному исследованию наноструктурированных углеродных материалов в качестве коллектора термоэмиссионного преобразователя. Объект исследования - композит из нанокристаллитов меди, покрытых молекулами фуллерена C_{60}. Исследования проводятся на лабораторном стенде термоэмиссионных испытаний с плоскими коллекторами диаметром 14 мм. Исследуемый материал обладает низкой работой выхода электронов и, следовательно, является перспективным для повышения КПД низкотемпературных термоэмиссионных преобразователей.

Ключевые слова: *термоэмиссия, композит, наноструктурирование, коллектор.*

В последнее время проявляется заметный интерес к технологиям прямого преобразования энергии, в частности, разрабатываются проекты сверхмалый атомных электростанций [1]. Показано, что микроАЭС с внутризонным термоэмиссионным преобразованием энергии обладают рядом уникальных характеристик по критериям компактности, безопасности и стоимости обслуживания. Вместе с тем, широкое внедрение термоэмиссионных технологий в энергетику сдерживается относительно низким коэффициентом преобразования энергии. Повышение его возможно за счет двух факторов: снижения величины дуговых потерь в плазме межэлектродного зазора и применения в качестве конструкционного материала коллектора материала с пониженной работой выхода электронов на поверхности. Именно второму фактору уделяется внимание в настоящей работе. В качестве материала с низкой работой выхода исследуется композит из нанокристаллитов меди, покрытых молекулами фуллерена, ранее исследованный методами электронной Оже-спектроскопии и контактной разности потенциалов в вакууме и признанный по результатам исследований перспективным материалом для коллектора термоэмиссионного преобразователя (ТЭП) [2].

Предварительное экспериментальное исследование нанокомпозита Cu-C_{60} выполнялось методами электронной Оже-спектроскопии и контактной разности потенциалов в вакууме. Процедура изготовления образца нанокомпозита Cu-C_{60} диаметром 14 мм и толщиной 2 мм со средним размером кластера меди 30 нм и концентрацией фуллерена 2% вес. описана в [3]. Она включает изготовление стружки меди и совместное с фулереном C_{60} измельчение в шаровой мельнице с последующим спеканием порошка Cu-C_{60} под давлением. Температура спекания составляла 400^{O}C. Сохранение молекул C_{60} в полученном нанокомпозите после процедур измельчения и спекания подтверждается данными спектроскопии комбинационного рассеяния [4]. Оже-спектр представленный на рис. 1, записан при комнатной температуре после отжига образца. Время отжига – 2 минуты, температура – 450 K. Наличие в приповерхностных слоях атомов углерода, кислорода и меди подтверждается тремя обозначенными Оже-переходами. Спектры с теми же элементами наблюдались и после отжига при другой температуре.

Характерно, что энергия KLL-перехода углерода, определяемая при минимальной интенсивности, на 1-3 эВ ниже значения 272 эВ для углерода в состоянии «графит». Это согласуется с ЭОС-исследованием адсорбции фуллерена на металлической поверхности [5].

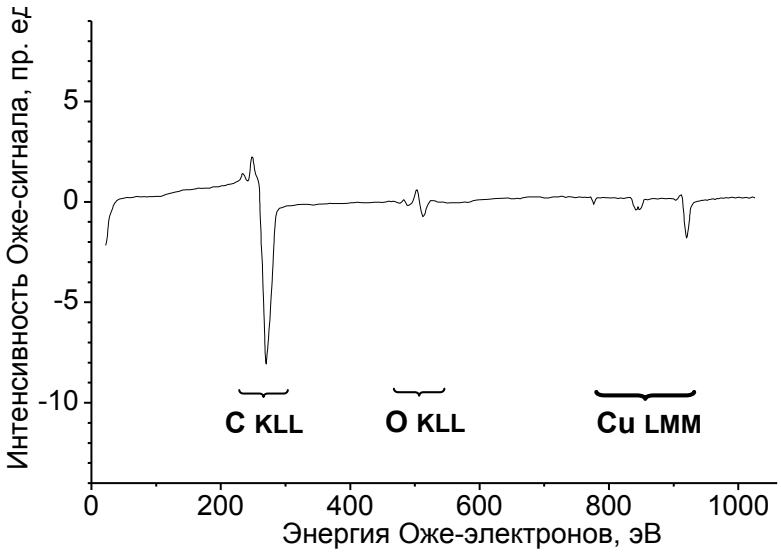


Рис. 1 – Оже-спектр после отжига образца при 450 K

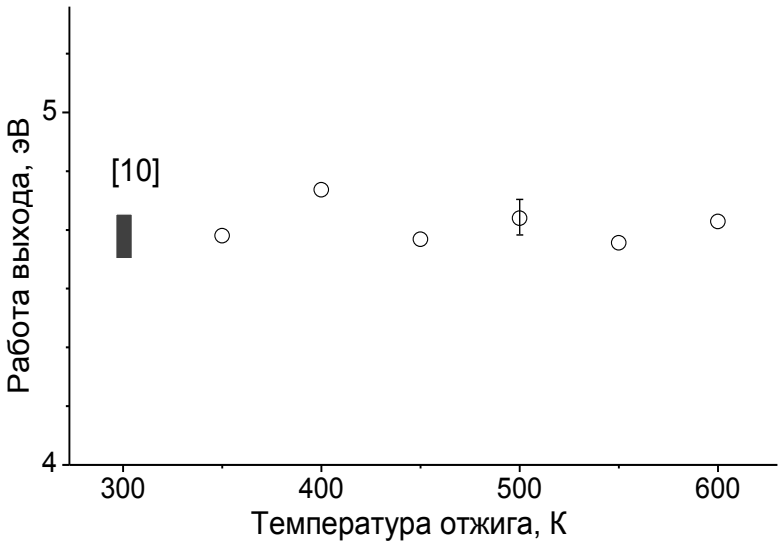


Рис. 2 – Работа выхода электронов в зависимости от температуры отжига

Полученная зависимость работы выхода электронов нанокомпозита Cu-C_{60} от температуры отжига приведена на рис. 2. Кривые задержки КРП были записаны при комнатной температуре после отжигов образца. Кроме того, на рис. 4 показаны погрешность при измерениях работы выхода и экспериментальные данные [5] (темный столбик) для сравнения [2].

В работе [5] для изучения покрытий фуллерена на металлах в вакууме при давлении 10^{-7}-10^{-8} Па без отжига также был использован метод КРП. Исследовались металлы – поликристаллические образцы меди, серебра и золота. Авторы установили, что при комнатной температуре для покрытий фуллерена толщиной от 1 до 10 нм работа выхода имеет величину 4.65 ±0.06 эВ на всех металлов подложки, что соответствует представленным результатам. Полученные нами кривые задержки указывают также на однородную по величине работы выхода поверхность образцов. Имеющиеся данные позволяют принять простую модель структуры приповерхностного слоя нанокомпозита Cu-C_{60}. Внешняя часть этой структуры представлена слоем молекул фуллерена, под которым

находятся медные нанокластеры с частично окисленной поверхностью. Проведенные расчеты дают значения толщины слоя фуллерена 3,2 нм и 2,1 нм после отжига при температуре 350 К и 600 К, соответственно [2]. Следует отметить возможное сокращение толщины слоя из-за испарения фуллеренов в вакуум, что негативно сказывается на ресурсе покрытия. Согласно [6], равновесное давление пара фуллерена C_{60} при 610 К равно примерно 10^{-4} Па, что явно недостаточно. В то же время, возможно длительное сохранение покрытия за счет адгезии с подложкой.

Исследования и испытания будут проведены на лабораторном ТЭП с электродами плоской геометрии и переменным межэлектродным зазором (МЭЗ). Внешний вид узлов и рабочей поверхности электродов лабораторного ТЭП приведен на рис. 3 и 4. Рабочая площадь электродов – 1.5 $см^2$. В качестве эмиттера используется диск из монокристалла вольфрама W(110), на который методом термического напыления нанесен слой платины толщиной ~ 3 мкм**.** Для измерения температуры эмиттера установлены пять вольфрам-рениевых термопар ВР 5/20–2 в двухканальных капиллярах из окиси бериллия, размещенных в теле диска эмиттера из вольфрама со стороны нагревателя эмиттера. Нагрев проводится танталовым нагревателем с использованием электронной бомбардировки. В качестве коллектора используется торцевая поверхность таблетки толщиной 3 мм и диаметром 14 мм из наноструктурированного композитного материала. Температура таблетки измеряется хромель-алюмелевой термопарой ХА, ее электроды выведены в двухканальной соломке из окиси алюминия по тракту воздушного охлаждения. В полости коллекторного стакана размещался электрический нагреватель, кольцевой патрубок воздушного охлаждения. Коллекторный стакан через металлокерамический узел соединялся с корпусом прибора.

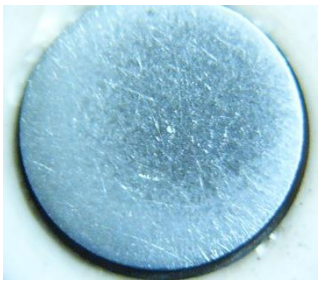


Рис. 3 – Узел эмиттера и рабочая поверхность эмиттера

Подготовка лабораторного ТЭП и стенда к проведению исследований включает термовакуумную подготовку (ТВП) с контролем массового состава остаточного газа в процессе газовыделения с помощью масс-спектрометров типа МХ7304, дистилляцию и перегонку цезия в цезиевый термостат (рабочий резервуар) и другие общепринятые процедуры.

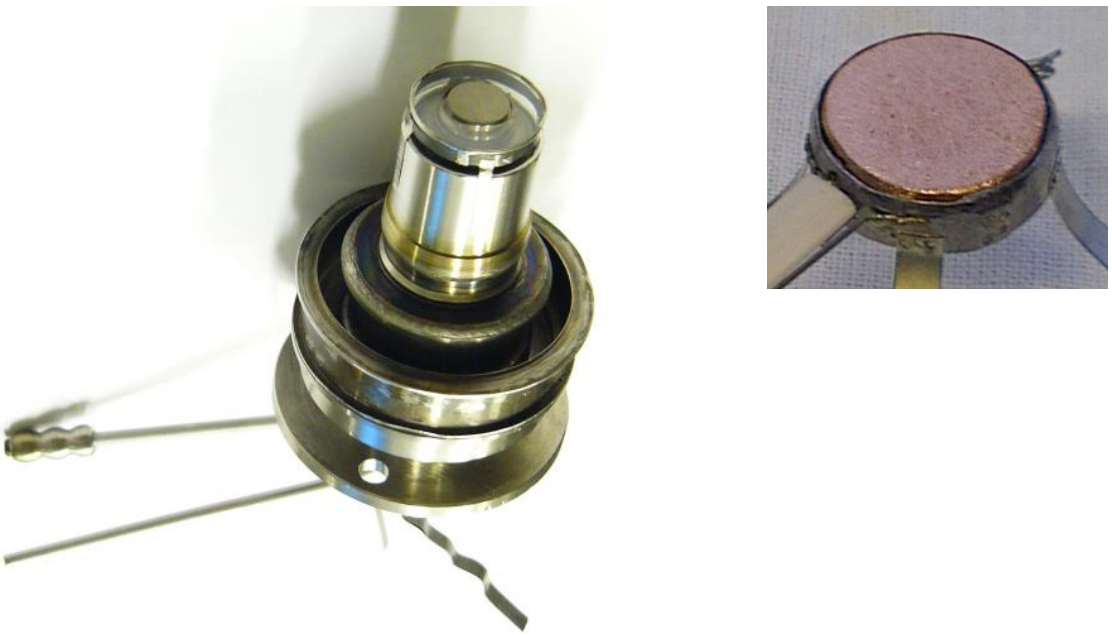


Рис. 4 – Узел коллектора и рабочая поверхность коллектора

Термовакуумная подготовка (ТВП) проводится в условиях безмасляного вакуума. Внутренний объем ТЭП, его вакуумно-цезиевые коммуникации откачиваются в процессе ТВП с помощью магниторазрядного насоса типа НОРД-100. При прокачке рабочей полости лабораторного ТЭП (давление остаточных газов 10^{-4}-10^{-3} Па) стенки полости ТЭП, контактирующие впоследствии с парами цезия, и вакуумно-цезиевые коммуникации стенда прогреваются до температуры примерно 650 К, что превышает максимальную рабочую температуру пара цезия примерно на 50-100 К. Ампула с цезием прогревается до 550 К. На заключительной стадии ТВП проводится обезгаживание электродов ТЭП. Эмиттер разогревают до температуры 1500 К и выдерживают при этой температуре в течение 30 минут, коллектор разогревают до температуры 600 К и выдерживают в течение 5 минут. В процессе ТВП темп подъема температуры до вышеуказанных значений ограничен величиной давления остаточных газов в вакуумной системе, допустимая величина давления – менее 10^{-3} Па.

ТВП считается законченной, когда в масс-спектре остаточных газов перестают определяться (снижаются до фонового уровня) пики эмиссионно-активных газов (H_2O, OH, CO, CO_2, O_2, C_nH_m), выделяющихся при обезгаживании.

При температуре электродов ТЭП T_E~T_C~550 К, температуре стенок рабочей полости ТЭП и вакуумно-цезиевых трактов 530 К и титанового геттера ~700 К разрушается стеклянная ампула с цезием. Откачная линия рабочей полости ТЭП перекрывается и после дистилляции цезия проводится его перегонка в рабочий резервуар лабораторного ТЭП, а остатки стеклянной ампулы отсекаются прогреваемым (горячим) вентилем.

В ходе исследований регистрируются семейства дуговых изотермических ВАХ, снятые импульсным методом при различной температуре эмиттера, коллектора, цезиевого резервуара и величине МЭЗ.

По результатам обработки массива экспериментальных данных ВАХ, полученных в ходе испытаний экспериментального лабораторного ТЭП, будут определены основные внутренние параметры ТЭП: вакуумная работа выхода эмиттера, работа выхода эмиттера в парах цезия, эффективная работа выхода коллектора, минимальный барьерный индекс и др. Методический и аппаратный комплекс для регистрации ВАХ, определения выходных электрических характеристик и внутренних параметров ТЭП описаны в [7].

Исследование выполнено при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, соглашение 14.A18.21.0153.

Список литературы

1. *Кротов А.Д., Лазаренко Г.Э., Овчаренко М.К. и др.* Автономная термоэмиссионная ядерная энергетическая установка для морских газо- и нефтедобывающих платформ// Известия вузов. Ядерная энергетика. -2011.-№3.-С.21-27.
2. *Ярыгин В.И., Агафонов В.Р., Аракчеев А.А. и др.* Экспериментальное исследование элементного состава, структуры и работы выхода наноструктурированных углеродных покрытий коллектора термоэмиссионного преобразователя // Труды регионального конкурса научных проектов в области естественных наук, в.18. -Калуга, изд-во АНО КНЦ, 2013.
3. *Medvedev V.V., Popov M.Y., Mavrin B.N. et. al.* Cu-C60 nanocomposite with suppressed recrystallization // Applied Physics A. 2011. V. 105. P. 45.
4. *Rut'kov E.V., Tontegode A.Ya., Usufov M.M.* Evidence for a C60 Monolayer Intercalated between a Graphite Monolayer and Iridium // Phys. Rev. Lett. 1995. V. 74. P. 758
5. *Hayashi N., Ishii H., Ouchi Y., and Seki K.* Examination of band bending at buckminsterfullerene (C60)/metal interfaces by the Kelvin probe method // J. Appl. Phys. 2002. V. 92. P. 3784
6. *Dresselhaus M.S., Dresselhaus G., and Eklund P.S.* Science of Fullerenes and Carbon Nanotubes // Elsevier, New York, 1996.
7. *Андриашин А.В., Мелета Е.А., Миронов В.С. и др.* Базовый комплекс аппаратных, методических и программных средств для проведения экспериментальных исследований лабораторных ТЭП // Сборник «Избранные труды ГНЦ РФ-ФЭИ за 1996 год». – Обнинск: ФЭИ, 1997.- С. 97-105.

01.02.01

К.В. Пахомов, О.А. Перегудова, Е.В. Филаткина

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

СИНТЕЗ ЗАПАЗДЫВАЮЩЕГО УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ КОЛЕСНОГО РОБОТА НА ОСНОВЕ МЕТОДА БЭКСТЕППИНГА[1]

В работе предложен новый закон управления с переменным запаздыванием для задачи стабилизации программной траектории мобильного колесного робота с двумя степенями свободы. Задача решена на основе применения знакопостоянных функций Ляпунова и процедуры метода бэкстеппинга.

Ключевые слова: *мобильный колесный робот, запаздывание в цепи обратной связи, управление с насыщением, бэкстеппинг, знакопостоянная функция Ляпунова.*

Математическое моделирование колесных механических систем характеризуется учетом кинематических неинтегрируемых связей, что приводит к необходимости исследования неголономных систем. В настоящее время не разработанными являются методы стабилизации нестационарных программных движений таких систем. Кроме того, все более активное применение находят системы управления с наличием сетевого компонента Интернет, использование которого приводит к возникновению транспортного запаздывания в цепи обратной связи при передаче сигналов от одного узла сети к другому. Математическое моделирование систем с запаздыванием основано на построении и исследовании функционально-дифференциальных уравнений с последействием. В работах [1,2] обоснованы новые методы исследования устойчивости и стабилизации управляемых нестационарных систем с последействием, получены эффективные методики построения функций Ляпунова для управляемых голономных механических систем с неизвестными и изменяющимися параметрами, удовлетворяющими интервальным ограничениям, с учетом запаздывания в структуре обратной связи. Для неголономных систем такие результаты к настоящему времени отсутствуют. Кроме того, практически отсутствуют методы управления колесными механическими системами, которые бы позволяли исследовать их динамические модели, обеспечивали бы эффективные оценки максимально допустимой величины запаздывания в структуре обратной связи и были бы применимыми для широкого класса нестационарных программных движений колесных систем. В работе [3] построен непрерывный закон управления с насыщением для трехколесного мобильного робота для задачи стабилизации программного движения, но при этом не рассматривался вопрос о влиянии запаздывания на процесс управления.

Целью настоящей статьи является построение и обоснование нового закона управления колесного робота с двумя степенями свободы, позволяющего эффективно учитывать такие особенности функционирования, как нестационарность программного движения, транспортное запаздывание в цепи обратной связи. Задача решена при помощи непрерывного управления с функцией насыщения. На основе процедуры метода бэкстеппинга осуществлен переход от простой задачи стабилизации кинематической модели к задаче стабилизации динамической модели.

[1] Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (12-01-33082) и Министерства образования и науки Российской Федерации, соглашение 14.B37.21.0373.

1. Постановка задачи. Рассмотрим задачу о стабилизации программного движения трёхколёсного робота, управляемого с помощью двух электродвигателей (см. рис. 1). Уравнения динамики такой системы имеют вид

$$\begin{cases} m\dot{V} - m_1 a\Omega^2 - \dfrac{nc}{r}(i_1 + i_2) = 0, \quad J\dot{\Omega} + m_1 aV\Omega - \dfrac{ncl}{r}(i_1 - i_2) = 0, \\ L\dfrac{di_1}{dt} + Ri_1 + \dfrac{nc}{r}(V + l\Omega) = U_1, \quad L\dfrac{di_2}{dt} + Ri_2 + \dfrac{nc}{r}(V - l\Omega) = U_2, \end{cases} \tag{1.1}$$

где V - скорость точки A; Ω - угловая скорость платформы; i_1 и i_2 – токи во внешних цепях электродвигателей; r – радиус задних колес; m_1 – масса платформы; L – обобщённая индуктивность цепи электродвигателя; c – коэффициент электромеханического взаимодействия; R – омическое сопротивление цепи ротора; n – передаточное число редуктора; $a = AC$;

$$m = m_1 + 2m_k + 2\frac{J_y}{r^2}, \quad J = J_1 + 2J_{kz} + (m - m_1)l^2 + m_1 a^2,$$

m_k – суммарная масса ведущего колеса и ротора электродвигателя, J_1 – момент инерции платформы, относительно вертикальной оси, проходящей через центр масс C; J_{kz} – момент инерции ведущего колеса относительно вертикальной оси; J_y – приведённый момент инерции колеса.

Кинематические уравнения робота имеют вид

$$\dot{x} = V\cos\psi, \quad \dot{y} = V\sin\psi, \quad \dot{\psi} = \Omega. \tag{1.2}$$

Будем предполагать, что $V_r = const$, $\Omega_r = const$.

Поставим задачу: путем выбора управляющих напряжений U_1 и U_2 ($|U_i| < U_0 = const > 0$, $i = 1, 2$) стабилизировать программное движение робота, при котором координаты изменяются по заданному нестационарному закону

$$x = x_r(t), \quad y = y_r(t), \quad \psi = \psi_r(t). \tag{1.3}$$

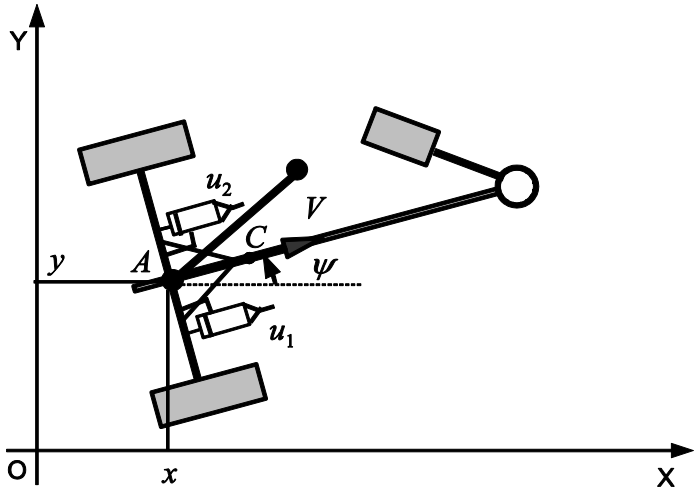


Рис. 1 – Мобильный колесный робот с двумя степенями свободы

2. Решение задачи. Введем отклонения от заданной траектории (1.3) по формуле

$$\begin{bmatrix} x_e \\ y_e \\ \psi_e \end{bmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\psi & \sin\psi & 0 \\ -\sin\psi & \cos\psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{bmatrix} x_r - x \\ y_r - y \\ \psi_r - \psi \end{bmatrix}$$

Тогда кинематические уравнения (1.2) в отклонениях примут вид

$$\begin{cases} \dot{x}_e = \Omega y_e - V + V_r \cos\psi_e, \\ \dot{y}_e = -\Omega x_e + V_r \sin\psi_e, \\ \dot{\psi}_e = \Omega_r - \Omega \end{cases} \tag{2.1}$$

Выберем следующий закон управления для кинематической модели (2.1)

$$V(t-r(t)) = V_r + k_1 x_e(t-r(t)), \Omega(t-r(t)) = \Omega_r + k_2\theta_e(t-r(t)), \tag{2.2}$$

где k_1 и k_2 – некоторые положительные постоянные, $0 \le r(t) \le r_0$ – ограниченное переменное запаздывание в цепи обратной связи.

С использованием результатов работы [1] можно показать, что закон управления (2.2) обеспечивает асимптотическую устойчивость нулевого решения для системы уравнений в отклонениях (2.1).

Перейдем к рассмотрению динамической модели робота (1.1). В пренебрежении коэффициентом индуктивности L можно получить следующие уравнения динамической модели робота

$$\begin{cases} \dot{x}_e = \Omega y_e - V + V_r \cos\psi_e, \\ \dot{y}_e = -\Omega x_e + V_r \sin\psi_e, \\ \dot{\psi}_e = \Omega_r - \Omega, \\ m\dot{V} - m_1 a\Omega^2 + \dfrac{2n^2c^2}{r^2R}V = \dfrac{nc}{rR}U_3, \quad J\dot{\Omega} + m_1 aV\Omega + \dfrac{2n^2c^2l^2}{r^2R}\Omega = \dfrac{ncl}{rR}U_4, \end{cases} \tag{2.3}$$

где $U_3 = U_1 + U_2$ и $U_4 = U_1 - U_2$.

С помощью процедуры метода бэкстеппинга [4] построим законы управления для этой модели. Сделаем замену переменных

$$\begin{cases} V_1 = V - V_r(t) - k_1 x_e, \quad \Omega_1 = \Omega - \Omega_r(t) - k_2\psi_e, \\ u_1 = \dfrac{m_1 a}{m}\Omega^2 - \dfrac{2n^2c^2}{mr^2R}V + \dfrac{nc}{mrR}U_3, \quad u_2 = \dfrac{m_1 a}{J}V\Omega - \dfrac{2n^2c^2l^2}{Jr^2R}\Omega + \dfrac{ncl}{JrR}U_4, \end{cases}$$

Положив $\tilde{u}_1 = u_1 - \dot{V}_r(t) - k_1\dot{x}_e, \quad \tilde{u}_2 = u_2 - \dot{\Omega}_r(t) - k_2\dot{\psi}_e$, преобразуем систему (2.3) в каскадное соединение двух подсистем

$$\begin{cases} \dot{x}_e = (\Omega_1 + \Omega_r(t) + k_2\psi_e)y_e - V_1 - V_r(t) - k_1 x_e + V_r(t)\cos\psi_e, \\ \dot{y}_e = -(\Omega_1 + \Omega_r(t) + k_2\psi_e)x_e + V_r(t)\sin\psi_e, \\ \dot{\psi}_e = -\Omega_1 - k_2\psi_e, \\ \dot{V}_1 = \tilde{u}_1, \quad \dot{\Omega}_1 = \tilde{u}_2. \end{cases} \tag{2.4}$$

Выберем для системы (2.4) функции управления $\tilde{u}_1$ и $\tilde{u}_2$ в виде $\tilde{u}_1(t-r(t)) = -k_3 sat(V_1(t-r(t))), \quad \tilde{u}_2(t-r(t)) = -k_4 sat(\Omega_1(t-r(t)))$, где k_3, k_4 – положительные постоянные, sat(•) – функция насыщения с большим углом наклона линии переключения управления.

С помощью знакопостоянной функции Ляпунова $v = V_1^2 + \Omega_1^2$ и результатов работы [2] можно показать, что нулевое решение $x_e = y_e = \psi_e = V_1 = \Omega_1 = 0$ системы (2.4) равномерно асимптотически устойчиво. Таким образом, управления, обеспечивающие стабилизацию заданного движения (1.3), будут иметь вид:

$$\begin{cases} u_1(t-r(t)) = k_1(\Omega(t-r(t))y_e(t-r(t)) - V(t-r(t)) + V_r\cos\theta_e(t-r(t))) - \\ -k_3\,\mathrm{sat}(V(t-r(t)) - V_r - k_1 x_e(t-r(t))), \\ u_2(t-r(t)) = k_2(\Omega_r - \Omega(t-r(t))) - k_4\,\mathrm{sat}(\Omega(t-r(t)) - \Omega_r - k_2\theta_e(t-r(t))) \end{cases}$$

Список литературы

1. *Перегудова О.А.* Знакопостоянные функции Ляпунова в задаче об устойчивости функционально-дифференциальных уравнений // Международный сборник "Проблемы нелинейного анализа в инженерных системах". – 2007. – Т. 13, № 2(28). – С. 97–108.
2. *Перегудова О.А.* Метод сравнения в задачах устойчивости и управления движениями механических систем. Ульяновск: УлГУ, 2009. 253 с.
3. *Пахомов К.В., Перегудова О.А., Силантьев П.П.* Управление движением неголономного мобильного робота на основе метода бэкстеппинга // Научно-технический вестник Поволжья. 2011. № 3. С. 30-33
4. *Халил Х.К.* Нелинейные системы. М.-Ижевск: НИЦ "Регулярная и хаотическая динамика", Институт компьютерных исследований, 2009. 832 с.

01.04.21

С.В. Половченко, В.В. Роговский, П.В. Чартий, В.Г. Шеманин

Новороссийский политехнический институт (филиал)
ФГБОУ ВПО Кубанский государственный технологический университет,
кафедра общенаучных дисциплин,
Новороссийск, polosveta@mail.ru

ЛАЗЕРНАЯ ДИАГНОСТИКА РЕЛАКСАЦИОННЫХ АЭРОДИСПЕРСНЫХ ПОТОКОВ

В данной статье отражены результаты выполненных исследований на специальном пылевом стенде. Для исследования зависимости оптических параметров получаемых аэродисперсных потоков была собрана установка реализующая возможность лазерного зондирования аэродисперсного потока на нескольких длинах волн одновременно методом спектральной прозрачности и интегрального светорассеяния.

Ключевые слова: *поток, аэрозоль, лазер, импульсная инжекция.*

В последние годы с целью унификации природоохранных и санитарно-гигиенических требований в РФ принимаются нормы, получившие до этого широкое распространение в развитых индустриальных странах. Одним из таких примеров являются санитарно-гигиенические требования к содержанию мелкодисперсных взвешенных частиц [3], что требует их инструментального контроля. Лазерные оптические методы на сегодняшний день являются одними из самых перспективных в дистанционном зондировании индустриальных аэрозольных потоков. Однако для их метрологического обеспечения необходимо создавать аэродисперсные потоки с заданными характеристиками и близкими к реальным индустриальным потокам. Поэтому целью работы является экспериментальное моделирование аэродисперсных потоков с достаточной для проведения метрологических исследований пространственно-временной стабильностью параметров. В работе [4] предложено использовать в качестве установки для создания аэродисперсных потоков специальный пылевой стенд, представляющий собой замкнутую аэродинамическую трубу. Недостатком такого стенда является изменение закона распределения частиц по размерам в потоке по сравнению с исходным, связанное с инерционным осаждением частиц с разными размерами. Поэтому непрерывная инжекция исследуемого аэрозоля приводит к неконтролируемому искажению распределения частиц по размерам.

Этот недостаток был ликвидирован путем импульсной инжекции определенной порции аэрозоля в поток и использованием релаксационного спада концентрации и изменения спектра размеров частиц от времени. В результате были получены соответствующие эмпирические зависимости концентрации частиц заданного размера от времени после инжекции [5]. При этом важно знать, через какой промежуток времени после импульсной инжекции происходит пространственно-временная стабилизация характеристик потока (концентрация и распределение частиц по размерам), позволяющая проводить метрологические измерения характеристик потока, в т.ч. и лазерными методами зондирования. Концентрация аэрозольных частиц в потоке в случае больших динамических диапазонов значений концентраций и размеров частиц, характерных для реальных индустриальных потоков может достаточно эффективно оцениваться интегральными методами лазерно-оптического зондирования, такими как интегрального светорассеяния и спектральной прозрачности [6]. Аэродисперсный поток перед выбросом в атмосфере подвергается очистке в нескольких ступенях, являющихся аэродинамическими классификаторами. На основании балансовых соотношений и измеренных в лабораторных условиях спектров размеров частиц, уловленных в каждом классификаторе, полученных на

одном из цементных заводов г. Новороссийска, были восстановлены функции распределения частиц по размерам на входе каждого классификатора:

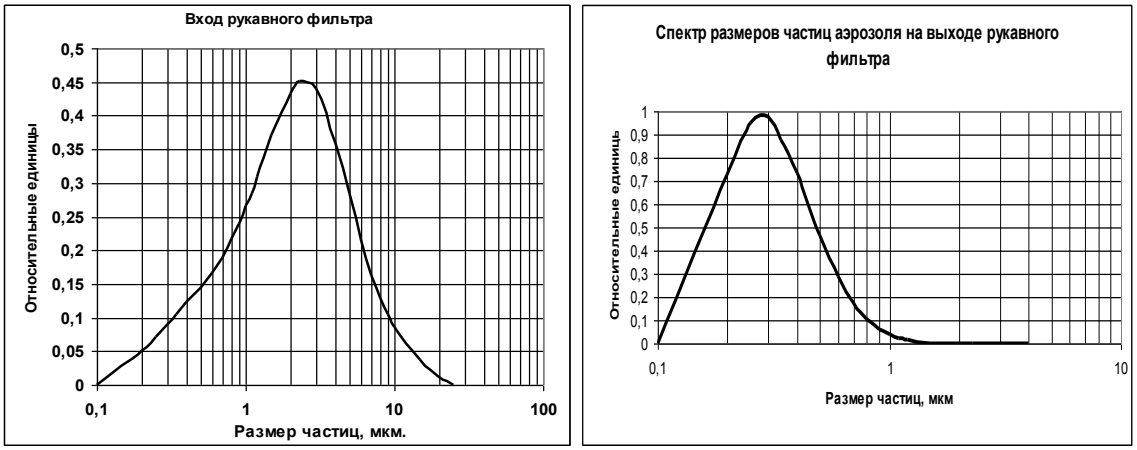


Рис. 1 - Распределение частиц в последнем классификаторе

Наиболее важное значение имеет последний классификатор, так как после него аэродисперный поток непосредственно поступает в атмосферу, чаще всего это рукавный фильтр. Поскольку значения выбросов нормируются для исправно работающего фильтра, то при его отказе часть потока с аэрозольными частицами, характерными для входа в рассматриваемый классификатор появляется на выходе. Для чего была выполнена оценка изменения спектров размеров частиц при выбросе в атмосферу в случае частичного или полного отказа установок ПГО [2]. В этом случае спектр размеров становится бимодальным, в нем появляется мода, характерная спектру размеров частиц на входе соответствующей установки ПГО.

Для обеспечения высокой точности решения измерительных задач необходимо проведение метрологических исследований объекта измерения. Такие исследования аэродисперсных потоков в промышленных условиях практически невозможны или чрезвычайно затруднены. В работе [4] на основе специального пылевого стенда были получены модельные аэродисперсные потоки, проанализирована зависимость концентрации аэрозольных частиц в стенде от времени, скорости, диаметра частиц.

$$C = C_0 e^{-ad^2 t(bv^2+c)/\mu}, \qquad (1)$$

где *a, b, c* – константы, зависящие от плотности частиц, геометрических размеров стенда.

Необходимо определить, в какой момент времени моделируемый поток в стенде будет хорошо согласовываться с теоретическими расчетами. В результате эксперимента движение потока наблюдалось в течение 3600 секунд. Постепенно более крупные частицы оседали и происходила трансформация спектров размеров частиц в потоке. Затем проследили посекундную согласованность теоретических графиков распределения частиц по размерам с полученными в результате эксперимента модельными. В качестве меры адекватности был использован коэффициент детерминации:

$$R^2 = 1 - \sum_{i=1}^{n} \left(y_i - y_i^T\right)^2 \Big/ \sum_{i=1}^{n} \left(y_i^T - \bar{y}\right)^2 \qquad (2)$$

На установке, реализующей одновременное лазерное зондирование аэродисперсного потока на нескольких длинах волн интегральными методами [6] что пространственно-временная стабилизация характеристик потока (концентрация и распределение частиц по размерам), позволяющая проводить метрологические измерения наступает через 9 секунд (примерно с 6000 отсчетов до 14000), после чего происходит стабилизация сигнала рассеяния. Этот факт позволяет считать, что начиная с 9-й секунды от момента импульсной инжекции в поток происходит полное затухание колебательной составляющей обусловленной стабилизацией концентрации аэрозоля по всему объему потока. С этого

момента времени модельный поток может быть подвергнут различным исследованиям, в том числе и метрологическим.

В результате было получено следующее: в промежутке времени от 77 секунды до 538 секунды спектр размеров модельного потока со спектром размеров промышленного после первого классификатора имеет коэффициент детерминации свыше 80%, а в промежутке от 96 секунды до 280 секунды коэффициент детерминации достигает значения более 90% и своего максимального значения, равного 0,92%.

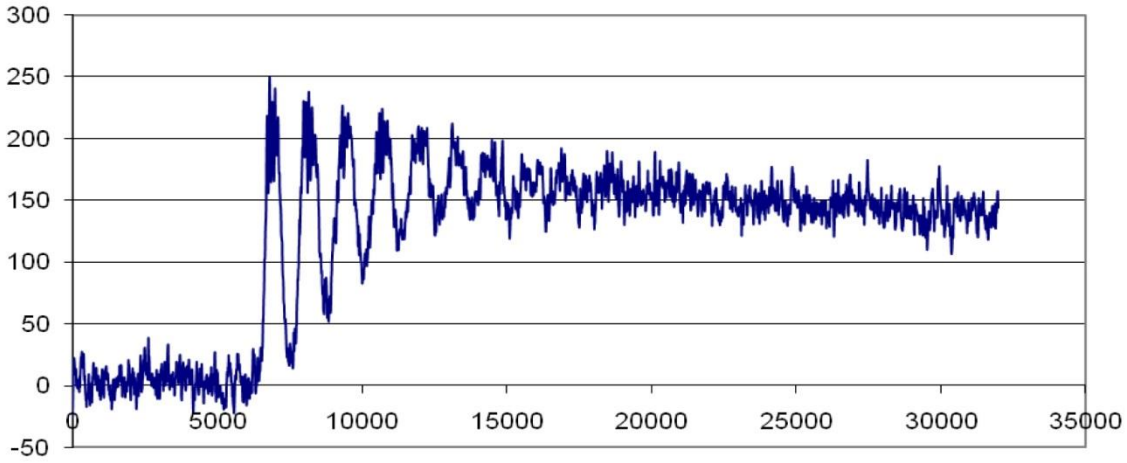


Рис. 2 – Сигнал светорассеяния на длине волны 650 нм

В промежутке времени от 771 секунды и до конца серии измерений коэффициент детерминации свыше 80% для второго классификатора. При этом наблюдается тенденция монотонного роста коэффициента детерминации для второго классификатора, что может быть использовано в дальнейших экспериментах.

Таким образом, получено, что экспериментальное моделирование релаксационных аэродисперсных потоков может быть применено для проведения метрологических исследований, в том числе и лазерными методами зондирования.

Список литературы

1. *Дьяченко В.В. Половченко С.В., Роговский В.В., Чатрий П.В.* Экологический мониторинг аэрозолей с цементной дисперсной фазой //Научный диалог. Серия Естествознание и экология. 2012. № 7. С. 6 -18

2. *Половченко С.В., Роговский В.В., Чартий П.В.. Шеманин В.Г.* Решение обратной задачи лазерного зондирования индустриальных аэрозолей: сборник докладов//21 международная конференция «Лазеры. Измерения. Информация». Санкт-Петербург, июнь, 2011. Санкт-Петербург: СПбГПУ, 2011., Том 3, С. 173-181

3. *Половченко С.В., Роговский В.В., Чартий П.В.. Шеманин В.Г.* Идентификация спектров размеров индустриальных аэрозолей лазерными методами зондирования: сборник докладов//20 международная конференция «Лазеры. Измерения. Информация». Санкт-Петербург, июнь, 2010. Санкт-Петербург: СПбГПУ, 2010, Том 1, С. 145-160

4. *Чукардин В.Е,. Чартий П.В.* Стенд для моделирования промышленного пылегазового потока// Безопасность жизнедеятельности 2003. № 9. – С. 50-52.

5. *Vadim E. Privalov, Pavel V. Charty and Valery G. Shemanin* Optical properties of the poydisperse aerosols in air flows at their pulse generation studies// Proceeding of SPIE, 2004. V. 5447. P. 251-259

6. *Vadim E. Privalov, Pavel V. Charty and Valery G. Shemanin.* Polydisperse aerosol in air flow Mi scattering indicatrix experimental studies// Proceeding of SPIE, 2004. V. 5447. P. 242-250.

01.04.10

В.В. Трегулов к.т.н., Г.Н. Скопцова

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

ВЛИЯНИЕ АНТИОТРАЖАЮЩЕГО ПОКРЫТИЯ НА ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КРЕМНИЕВОГО ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ

Приведены результаты исследования оптических и электрофизических характеристик кремниевых фотоэлектрических преобразователей солнечной энергии. Получена модель, объясняющая влияние толщины антиотражающей пленки пористого кремния на электрофизические характеристики.

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

Повышение эффективности кремниевых фотоэлектрических преобразователей солнечной энергии (ФЭП) может быть обеспечено за счет формирования антиотражающих покрытий на их фронтальной поверхности. В качестве такого покрытия может успешно применяться пленка пористого кремния (por-Si). Важной особенностью кремниевых ФЭП является малая глубина залегания *p*-*n*- перехода, не более 0.5 мкм от поверхности [1]. Для существенного снижения отражающей способности фронтальной поверхности ФЭП пленка por-Si должна быть достаточно толстой. При этом может оказаться, что *p*-*n*- переход будет находиться внутри пленки por-Si. Таким образом, толщина антиотражающей пленки por-Si на фронтальной поверхности *p*-*n*-перехода ФЭП, будет оказывать существенное влияние на его электрофизические характеристики.

В данной работе исследовано влияние толщины антиотражающей пленки por-Si на электрофизические характеристики кремниевого ФЭП.

Основой исследуемого ФЭП является n^+-*p*- переход с глубиной залегания 0.3 мкм, сформированный диффузией фосфора на кремниевой пластине *p*- типа проводимости с удельным сопротивлением 1 Ом·см и ориентацией поверхности (100).

Пленка por-Si формировалась на поверхности n^+- слоя электрохимическим способом. Технология изготовления образцов подробно описана в [2]. Для исследования электрофизических характеристик на фронтальной и тыльной поверхности образцов формировались омические контакты посредством пайки индия с последующей формовкой электрическим импульсом.

Было изготовлено несколько образцов с разной толщиной пленки por-Si (образцы №2 – №5). Также для исследования был подготовлен образец (№1) без пленки por-Si, представляющий собой традиционный кремниевый ФЭП. Для образца №1 антиотражающим покрытием служила тонкая пленка фосфоросиликатного стекла, которая при изготовлении ФЭП методом диффузии обычно не полностью удаляется с фронтальной поверхности. Данные о толщине пленки por-Si и результатах исследования экспериментальных образцов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты исследования образцов

№ образца	Толщина пленки por-Si, мкм	n	U_{XX}, мВ	J_{K3}, мА/см^2	$\Delta E_{0.5}$, эВ
1	0	0.86	505	10.36	0.42
2	0.2	0.76	506	15.35	0.29
3	0.7	0.94	530	15.30	0.37
4	1.5	1.20	538	15.67	0.48
5	3.0	3.66	364	2.70	0.47

Спектры отражения (рис. 1) измерялись при облучении образцов вдоль нормали к поверхности светом от лампы накаливания. Отраженное излучение регистрировалось под углом 15º относительно нормали к поверхности образца объективом спектрометра USB–4000–VIS–NIR.

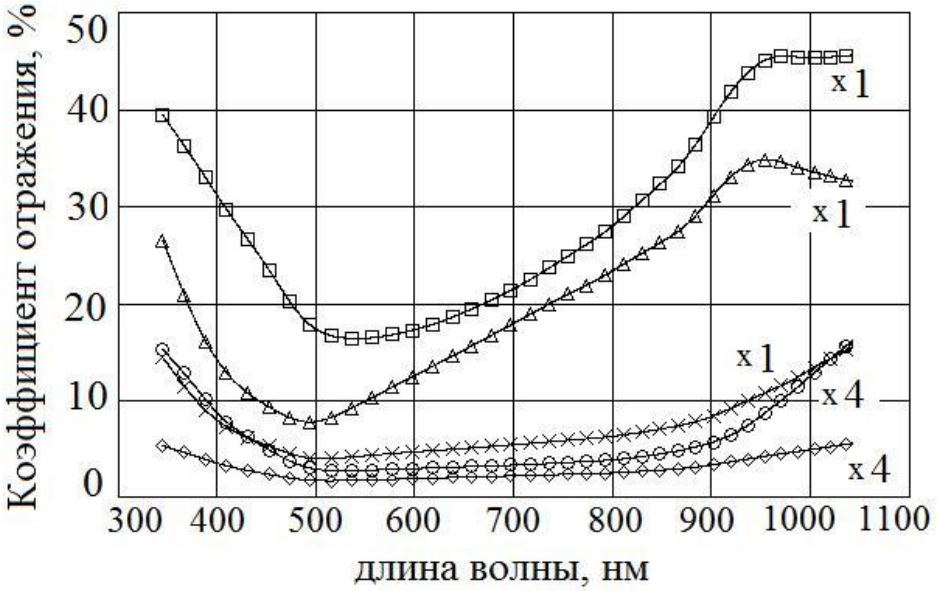


Рис. 1- Спектры отражения образцов
№ 1 (□), № 2 (Δ); № 3 (×); № 4(○); № 5 (◊)

Из рис. 1 следует, что наилучшими антиотражающими свойствами обладает образец №5 с наиболее толстой пленкой por-Si.

Для выяснения механизмов транспорта носителей заряда измерялись вольт- амперные характеристики (ВАХ) образцов при отсутствии освещения. Прямые ветви ВАХ всех образцов, измеренные при температуре 300 К, могут быть представлены известной зависимостью *I(U)* для диода с *p-n*- переходом:

$$I(U) = I_0 \exp\left(\frac{qU}{nkT}\right), \qquad (1)$$

где I_0 – ток насыщения, q – заряд электрона, U – напряжение, n– показатель идеальности, k– постоянная Больцмана, T– абсолютная температура [1].

Для образцов №1, №2, №3 $n \le 1$, поэтому токи, протекающие через *p-n*- переход имеют диффузионную природу (таблица 1). Для образца №5 токи, протекающие через *p-n*-переход, определяются процессами генерации и рекомбинации носителей в области пространственного заряда (ОПЗ), так как $n >> 2$ (таблица 1). Для образца №4 выполняется условие $1 < n < 2$ (таблица 1). Здесь транспорт носителей заряда через *p-n*- переход одновременно определяется диффузией и рекомбинацией в ОПЗ.

Для оценки эффективности преобразования солнечной энергии измерялось напряжение холостого хода ФЭП (U_{XX}) и плотность тока короткого замыкания (J_{K3}) при освещении в стандартных условиях АМ 1.5. Из таблицы 1 видно, что наличие антиотражающей пленки por-Si на фронтальной поверхности образцов №2, №3, №4 приводит к повышению эффективности преобразования солнечной энергии (U_{XX} и J_{K3} увеличиваются) по сравнению с традиционным ФЭП (образец №1). В то же время, для образца №5 эффективность преобразования снижается.

На рис. 2 представлены спектры нормированной фотоэдс исследованных образцов, характеризующие область чувствительности, которая оценивалась как ширина спектральной линии на уровне 0.5 ($\Delta E_{0.5}$).

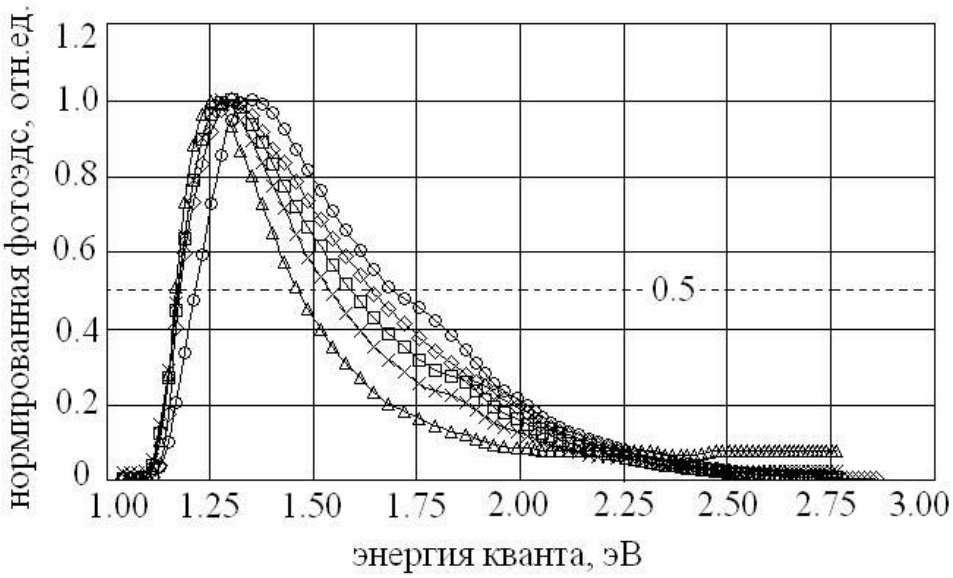


Рис. 2- Спектры нормированной фотоэдс образцов
№ 1 (□), № 2 (Δ); № 3 (×); № 4(○); № 5 (◊)

Наибольшие значения $\Delta E_{0.5}$ отмечаются у образцов №4 и №5 (таблица 1), которые имеет наибольшую толщину por-Si. Это можно объяснить усилением антиотражающих свойств пленки por-Si с ростом ее толщины, которое хорошо иллюстрируется спектрами отражения (рис. 1).

Для объяснения полученных результатов можно предложить модель структуры ФЭП с антиотражающим покрытием в виде пленки por-Si на фронтальной поверхности, представленную на рис. 3. Образец №2 соответствует ситуации на рис. 3, а. Здесь толщина пленки por-Si меньше глубины залегания *p-n-* перехода *x*. Небольшое улучшение эффективности преобразования солнечной энергии для образца №2 можно объяснить снижением коэффициента отражения по сравнению с ФЭП без антиотражающего покрытия (образец №1).

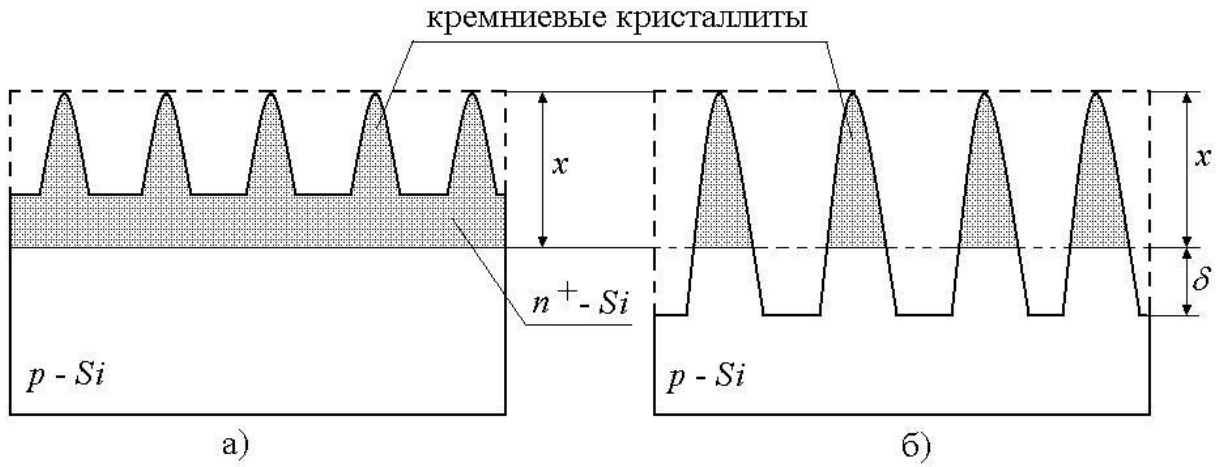


Рис. 3- Модель структуры ФЭП с антиотражающей пленкой por-Si.

Образцы №3 – №5 соответствуют модели на рис. 3, б. Здесь толщина пленки por-Si превышает *x* на некоторую величину *δ*. Рост эффективности ФЭП в данном случае связан, прежде всего, с уменьшением коэффициента отражения фронтальной поверхности (№3, №4). Так как плоскость *p-n*-перехода пронизана кремниевыми кристаллитами, возникают дефекты, приводящие к росту скорости поверхностной рекомбинации. Это приводит к снижению U_{XX} и J_{K3} при достаточно большом *δ* (образец №5). Оптимальными характеристиками обладают образцы №3 и № 4.

Таким образом, оптимальное отношение толщины антиотражающей пленки por-Si к глубине залегания *p-n*-перехода составляет от 2,3 до 5.

Список литературы

1. *Зи, С.М.* Физика полупроводниковых приборов Т.2. [Текст] / С.М. Зи // М.: Мир, 1984. – 456 с.

2. *Трегулов, В.В., Степанов, В.А., Скопцова, Г.Н.* Рассеяние света в антиотражающем покрытии фотоэлектрического преобразователя солнечной энергии на основе кремния [Текст] / В.В. Трегулов, В.А. Степанов, Г.Н. Скопцова // Научно- технический вестник Поволжья. – 2013. – №. 1. – С. 46 – 49.

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

02.00.01

Е.В. Биктагирова, В.К. Половняк д.х.н., В.В. Биктагиров к.х.н.

Казанский национальный исследовательский технологический университет, г. Казань

КОРРЕЛЯЦИЯ ОСНОВНЫХ 3d- ОРБИТАЛЕЙ ИОНОВ Ti(III) В АССОЦИАТАХ ПО ДАННЫМ ЭПР

Для $TiCl_3$ в растворе и каталитической системы $TiCl_4$+ТИБА методом спектроскопии ЭПР обнаружено орбитальное упорядочение обменно- связанных ионов Ti(III) в ассоциатах.

Ключевые слова: *ЭПР, трехвалентный титан, орбитальное упорядочение.*

Образование кристаллических модификаций $TiCl_3$ является продуктом формирования каталитических систем $TiCl_4$ + AlR_3 (R- углеводородное соединение) в инертном растворителе [9]. Очевидно, что процесс формирования твердой фазы $TiCl_3$ происходит через стадию ассоциирования или упорядочения комплексов титана. Ассоциированные структуры алкилированных ионов Ti(III) в виде $[Ti_2^{6+}]_n$ обнаружены нами [3] в каталитической системе $TiCl_4$ + $Al(i\text{-}C_4H_9)_3$ при избыточном содержании алюминийорганического соединения. Однако недостаточно изученным остаётся вопрос упорядочения ионов Ti(III) в хлорном лигандном окружении.

Целью данной работы является определение основных электронных состояний ионов Ti(III) в ассоциатах и определение характера их упорядочения.

Экспериментальная часть

Металлический титан растворялся в 37% соляной кислоте с последующим перемешиванием с HCl. Мольная концентрация титана в HCl составляла 0,01М. Полученные образцы замораживались при 77К.

Приготовление каталитической системы $TiCl_4$ + ТИБА (ТИБА- триизобутилалюминий) в растворе изопентана проводилось постепенным добавлением ТИБА в раствор $TiCl_4$ в атмосфере очищенного азота при температуре 203К. При этом соблюдались рекомендации, приведенные в работах [4, 1]. Мольная концентрация $TiCl_4$ в растворе выдерживалась равной 0,58М, ТИБА – 0,53М. Предварительная подготовка и анализ компонентов каталитической системы проводились по методикам, описанным в работах [9, 4].

Спектры ЭПР регистрировались на спектрометре "Bruker ER 220D" с рабочей длиной волны 3 см. Значения g–факторов определялись относительно положения сигнала ЭПР стандартного вещества – 1,1-дифенил-2-пикрилгидразила (ДФПГ) с $g_{ст}$ =2.0036.

Результаты и их обсуждение

ЭПР спектр замороженного раствора металлического титана в HCl при низкой концентрации титана (~ 0,01 М) ионов Ti(III) (d^1 – ионы, S= ½), представляет собой аксиальный сигнал с $g_{\parallel}$= 1,994 и $g_{\perp}$= 1,90 и шириной линии ΔH= 10 Гс (рис. 1). Следует отметить, что в спектре ЭПР отсутствуют линии сверхтонкой структуры (СТС).

Данный спектр можно отнести к ионам Ti(III) в тетраэдрическом кристаллическом поле, искаженном вдоль тетрагональной оси. В этом случае основной орбиталью является d_z2, для которого $g_{\parallel}= g_e$ и $g_{\parallel} > g_{\perp}$. Незначительное отклонение между $g_{\parallel}$ и g_e вызвано, по видимому, незначительным вкладом $d_x2 - _y2$ - орбитали к основному. Для d^1 –ионов в тетраэдрах с тетрагональным искажением линии СТС обычно хорошо разрешаются около перпендикулярной компоненты g- фактора [5]. Отсутствие линий СТС в спектре ЭПР можно объяснить наличием обменных взаимодействий между ионами Ti(III), которые также приводят к сужению сигнала ЭПР [5]. Обменные взаимодействия могут быть очень

эффективными для анализов объектов и требуют оптимальной взаимной ориентации соседних орбиталей ионов Ti(III) в $TiCl_3$.

В данном случае мы делаем заключение, что ионы Ti(III) ассоциированы в кластеры со взаимно ориентированными d- орбиталями. Ионы Cl^- ,вероятно, внедрены в первую координационную сферу ионов Ti(III) и обеспечивают механизм суперобмена [8], что дает основание предложить модель орбитального упорядочения ионов Ti(III) в кластеры по кооперативному эффекту Яна- Теллера. Хорошо известно [6], что орбитальное упорядочение сопровождается сверхрасщеплением основного состояния.

Таким образом, для растворённых комплексов $TiCl_3$ ионы Ti(III) с d_z2 основными состояниями ассоциированы в кластеры, в которых ионам Ti(III) соответствует тетраэдрическое кристаллическое поле с искажением вдоль тетрагональной оси.

Рассмотрим формирование упорядоченных структур титана для каталитических систем в растворе. Для каталитической системы $TiCl_4$+ ТИБА в растворе изопентана при соотношении компонентов Ti/Al=1/15 и температуре Т= 135К в спектре ЭПР наблюдается сигнал с аксиальной анизотропией g- факторов с параметрами: $g_\perp$ =1,973; $g_\parallel$ =1,948 (рис. 2-а). Размораживание раствора приводит к усреднению параметров g- факторов по формуле g_o=1/3 $*$(2 $g_\perp$ + $g_\parallel$) и при регистрации спектра ЭПР при температуре Т= 245К наблюдается усредненный сигнал с g_0 =1,964 (рис. 2-б). Следует отметить, что в обоих спектрах ЭПР (рис. 2) отсутствуют линии СТС. Для дополнительного подтверждения отсутствия линий СТС в спектре ЭПР был проведен эксперимент с $TiCl_4$, обогащенным изотопами ^{47}Ti на 61%. Спектр ЭПР данной каталитической системы $TiCl_4$+ ТИБА при соотношении Ti/Al~1/15 и температуре Т= 77К аналогичен спектру на рисунке 2-а и линии СТС в спектре не наблюдаются.

Отсутствие линий СТС в спектрах ЭПР ионов Ti(III) даже для обогащенного изотопами ^{47}Ti на 61%, дает основание предложить наличие обменных взаимодействий между ионами Ti(III) в ассоциатах. Однако отличие параметров g- факторов аксиального сигнала каталитической системы $TiCl_4$+ ТИБА (рис.2-а) от параметров ЭПР ассоциатов $TiCl_3$, приведенных на рисунке 1 указывает на несколько иную корреляцию d- орбиталей титана при ассоциировании.

Возникновение кооперативных эффектов сопровождается появлением обменного взаимодействия между ионами и приводит к тому, что точечная симметрия кооператива может не совпадать с симметрией изолированного иона кооператива. Это может приводить формально к аномальным значениям параметров спектров ЭПР кооперативных систем по сравнению со спектрами ЭПР изолированных ионов (без упорядочения). Хорошо известно, что при орбитальном упорядочении парамагнитных ионов параметры g- факторов усредняются по формуле [7]:

$$g^{ex}=\frac{1}{2}\sum_{i=1}^{2} g_i^{is} \qquad (1).$$

Здесь g^{ex} - экспериментальное значение g- фактора, g^{is}- значение g- фактора в спектре ЭПР изолированного парамагнитного иона, с основным электронным состоянием, аналогичным иону, участвующего в обменном взаимодействии. В работе [7], в частности, показано, что для ионов Cu^{2+} в $K_2Zn_{1-x}Cu_xF_4$, находящихся в чередующейся $d_x2_{-y}2$ -основными состояниями, охваченных обменным взаимодействием с $h\omega > J > a$, усреднение спектра приводит к аномальным g- факторам: $g_\parallel{}^{ex} = g_\perp{}^{is}$, $g_\perp{}^{ex} = \frac{1}{2}(g_\perp{}^{is} + g_\parallel{}^{is})$.

Для проведения расчетов усредненных значений g- факторов по формуле (1) использовались параметры g- факторов изолированных ионов Ti(III) в различных лигандных окружениях, полученные нами ранее [2]. Расчет усредненных значений по формуле (1) и сравнение их с экспериментальными параметрами спектра на рисунке 2 показали, что наиболее вероятным будет орбитальное упорядочение ионов Ti(III)- с d_{xy} и d_z2 основными орбиталями. Ионы Ti(III) с d_{xy}- орбиталью имеют октаэдрическое окружение из анионов хлора и двух связей Ti-C [2] с тетрагональным сжатием, параметры ЭПР которых имеют значения: $g_\perp$=1,992 и $g_\parallel$= 1,966.

Основная, наиболее устойчивая, орбиталь d_z2 свойственна для октаэдрического окружения с тригональным искажением [5]. Спектров ЭПР для изолированных ионов Ti(III) с основной d_z2 – орбиталью в каталитической системе $TiCl_4$ + ТИБА в растворе обнаружить не удалось. Спектры ЭПР обменно связанных ионов Ti(III) с d_z2 – основной орбиталью приведены выше и имеют параметры: $g_{\parallel}$= 1,994; $g_{\perp}$= 1,90 (рис. 1). Однако, следует отметить, что для данных ионов Ti(III) к наблюдается примешивание $d_{x^2-y^2}$ - орбиты к основной d_z2 –орбите.

Для расчетов воспользуемся теоретическими данными по спектрам ЭПР для d_z2- орбитали [5]. Основная, наиболее устойчивая, орбиталь d_z2 свойственна для октаэдрического окружения с тригональным искажением [5]. Параметры g -факторов для этого случая: $g_{\parallel} = g_e = 2{,}0023$; $g_{\perp} = 2{,}0023 - 2\lambda/\delta - 4\lambda/\Delta$. Для изолированных ионов Ti(III) в октаэдрическом окружении из анионов хлора с тригональным искажением примем параметры: $g \approx 2$; $g_{\perp} = 1{,}90$.

Вычисленные средние значения параметров g- факторов имеют значения: $g_{\parallel}^{\text{îáù}} = \frac{1}{2}(g_{\perp}^{(d_{xy})} + g_{\perp}^{(d_{z^2})}) = \frac{1}{2}(1{,}992 + 1{,}90) = 1{,}946$; $g_{\perp}^{\text{îáù}} = \frac{1}{2}(g_{\parallel}^{(d_{xy})} + g_{\parallel}^{(d_{z^2})}) = \frac{1}{2}(1{,}966 + 2) =$ 1,983, что близко значениям параметров g- факторов спектра на рисунке 2-а.

Аксиальная анизотропия спектра ЭПР для обменно- связанных в ассоциаты ионов Ti(III) (рис. 2-а) дает основание предположить, что упорядочение происходит в плоскости. Объемное упорядочение, при котором оси комплексов титана ориентированы под некоторыми углами друг к другу, приводит к наблюдению в спектре ЭПР сигнала с ромбической анизотропией g- фактора, что нами было обнаружено в каталитической системе $TiCl_4$+ ТИБА при избытке АОС [2].

Таким образом, в данной работе методом ЭПР обнаружено орбитальное упорядочение ионов Ti(III) в комплексах $TiCl_3$ в растворе и каталитической системе $TiCl_4$+ ТИБА. Параметры ЭПР дали основание предложить модель упорядочения Ti(III) в ассоциаты, в которых ионы титана имеют различные основные электронные состояния.

Список литературы

1. *Гармонов И.В.* Синтетический каучук. Л.: Химия. 1983. 560 с.
2. *Захаров В.В., Ануфриенко В.Ф., Филатова Т.Ф., Савельев В.С., Садыков Р.Х.* Докл. АН СССР. 1989. Т. 308. №5. С. 1170- 1173.
3. *Zakharov V.V., Anufrienko V.F. et al.* React. Kinet. Catal. Lett. 1990. Vol.42. N.1. P. 107- 112.
4. *Исаков Н.А., Белова Г.А., Фихтенгольц В.С.* Контроль производства синтетических каучуков. Л.: Химия. 1980. 240 с.
5. *Керрингтон А., Мак-Лечлан Э.* Магнитный резонанс и его применение в химии. М.: Мир. 1970. 447 с.
6. *Кугель К.И., Хомский Д.И.* Успехи физ. наук. 1982. Т. 136. Вып. 4. С. 621-664.
7. *Reinen D., Friebel C.* Struct. Bonding. 1979. Vol. 37. P. 1-60.
8. *Уайт Р.* Квантовая теория магнетизма. М.: Мир. 1985. 304 с.
9. *Чаушеску Е.* Стереоспецифическая полимеризация изопрена. М. : Химия. 1981. 256 с.

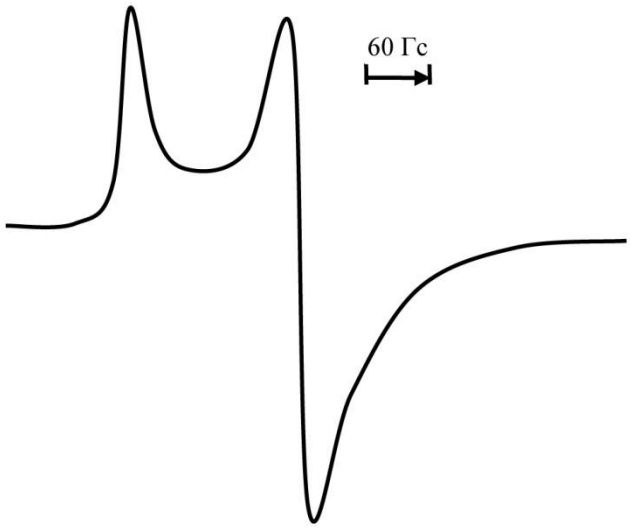


Рис. 1 – ЭПР спектр растворенного продукта металлического титана в 37% HCl. Концентрация $TiCl_3$ в HCl ~ 0,01 М, ΔH= 10 Гс. Температура Т= 77К.

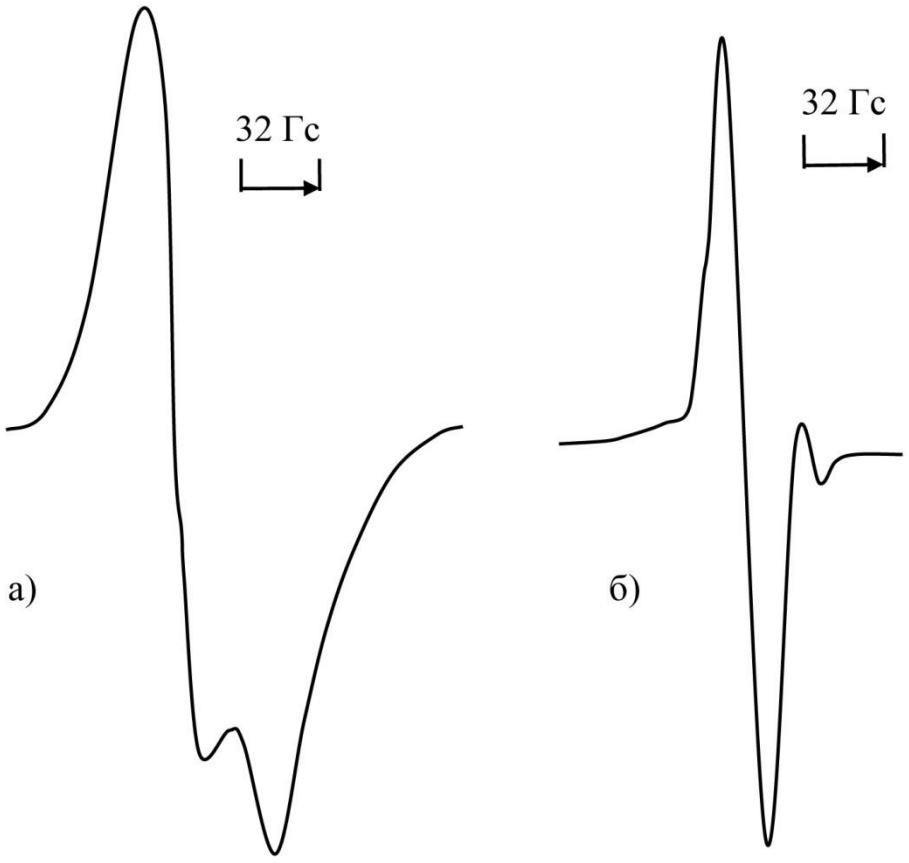


Рис. 2 – Спектры ЭПР системы $TiCl_4$+ ТИБА, прогретого при 313К и снятого при температурах: а) Т = 135К; б) Т = 245К. Соотношение компонентов Ti/Al ~ 1/15.

02.00.01

[1]А.К. Молодкин д.х.н., [1]Н.Я. Есина к.х.н., [1]М.Н. Курасова к.х.н., [2]М.В. Тачаев к.х.н., [1]О.И. Андреева к.х.н.

[1]Российский университет дружбы народов,
факультет физико-математических и естественных наук, кафедра неорганической химии,
Москва, 206127@mail.ru

[2]МГУ Природообустройства, кафедра химии

МОНОЛИГАНДНЫЕ КООРДИНАЦИОННЫЕ СОЕДИНЕНИЯ Rh(III) С АМИНОКИСЛОТАМИ

Изучено комплексообразование ионов Rh(III) с аминокислотами в водном растворе, рассчитаны константы образования комплексов. Синтезированы соединения $Rh(Ala)Cl_3 \cdot 2H_2O$, $Rh(Ala)_3Cl_3$, $Rh(Ala^-)Cl_2 \cdot 2H_2O$, $Rh(Ala)(Ala^-)Cl_2 \cdot H_2O$, $Rh(Ser^-)_2Cl \cdot H_2O$, $Rh(Lys^-)_2Cl \cdot H_2O$, $Rh(Asp^-)Cl_2 \cdot 2H_2O$, $Rh(Asp^-)_2Cl \cdot H_2O$. *Выделенные соединения охарактеризованы методами ЯМР, ИК спектроскопии.*

Ключевые слова: *родий, координационные соединения, аминокислота.*

Потенциометрическое титрование. Изучение комплексообразования родия (III) с аминокислотами в водных растворах проводили методом pH-метрического титрования [1,2] на иономере И-500, с использованием хлорсеребряного и стеклянного электродов. Титрование проводили раствором KOH с концентрацией 0,097 моль/л при температуре 20-21°C. Для создания необходимой ионной силы (μ=0,2) использовали KNO_3 с концентрацией 1 моль/л. Шаг титрования 0,10 мл.

Расчет констант устойчивости образующихся комплексов был проведен по методу Я.Бьеррума [3] с использованием функции образования $\bar{n}$, которая имеет смысл среднего координационного числа и равна: $\bar{n} = \frac{C_L - Q[L]}{C_M}$, где Q – расчетный коэффициент; C_L – общая концентрация лиганда в растворе; C_M – общая концентрация металла в растворе; [L] – равновесная концентрация лиганда в растворе.

Расчет констант устойчивости комплексов проводился по формулам:

$$K_1 = \frac{\bar{n}}{(1-\bar{n})[L]}; \qquad K_2 = \frac{\bar{n}-1}{(2-\bar{n})[L]}; \qquad K_3 = \frac{\bar{n}-2}{(3-\bar{n})[L]}$$

При расчете констант устойчивости образующихся комплексных соединений использовались предварительно определенные по методу А.Альберта и Е.Сержента [1] константы ионизации лигандов, высокая сходимость которых с ранее опубликованными результатами свидетельствует о надежности выбранной методики.

Было зафиксировано, что процесс комплексообразования Rh(III) с аминокислотами проходит в области pH 3,93÷9,62. Условия образования и устойчивость комплексных соединений зависят, в первую очередь, от природы лиганда. Рассчитанные константы устойчивости образующихся комплексных соединений приведены в таблице 1.

Таблица №1.

Константы устойчивости комплексов родия (III) с аланином, серином, лизином и аспарагиновой кислотой.

Лиганд	Состав системы	lgK_1	lgK_2	lgK_3	lgβ
Аланин	1:1	7,06			
	1:2	7,03	4,54		
	1:5	7,05	4,49	2,84	14,38
Серин	1:1	6,48			
	1:2	6,49	4,07		
	1:5	6,53	4,05	2,61	13,19
Лизин	1:1	7,75			
	1:2	7,79	4,63		
	1:5	8,01	4,48	3,80	16,29
Аспарагиновая кислота	1:1	8,16			
	1:2	8,14	5,12		
	1:5	8,16	5,14	3,70	17,00

Исходя из приведённых выше данных, можно сделать вывод о том, что методом потенциометрического титрования было доказано образование в исследуемых системах комплексов состава 1:1, 1:2 и 1:3. Образование комплексов состава 1:3 фиксировалось при пятикратном избытке лиганда, причём было показано, что это максимальное число лигандов, координированных ионами металла при данных условиях.

Если сравнивать первые константы устойчивости образующихся комплексов металла, то можно отметить следующее:

устойчивость комплексов родия (III) уменьшается в ряду:

Asp >Lys >Ala > Ser

Высокая устойчивость комплексных соединений родия (III) с аспарагиновой кислотой и лизином обусловлена наличием в молекуле лиганда трех функциональных групп, способных к координации с ионом металла. Гидроксильная группа серина участия в координации не принимает.

При синтезе комплексных соединений в качестве исходных веществ использовались аминокислоты: аланин, серин, лизин и аспарагиновая кислота фирмы Reanal (Венгрия); $RhCl_3 \cdot 3H_2O$ фирмы Aldrich (США).

Для получения комплексных соединений родия (III) с аминокислотами в молярном соотношении 1:1, 1:2 и 1:3 смешивали 20 мл 0,01М раствора хлорида родия с 20 мл (40 мл, 60 мл) 0,01М раствора аланина, серина, лизина или аспарагиновой кислоты, проводили контроль pH смеси (pH=2-6). Смесь нагревали до 50-60°С при постоянном перемешивании на магнитной мешалке в течение 1,5-2 ч., затем выпаривали на водяной бане до сиропообразного состояния. Через некоторое время наблюдали выпадение кристаллов, которые обрабатывали водно-спиртовой и водно-ацетоновой смесями и эфиром на фильтре Шотта. Отмытые кристаллы помещали в эксикатор (P_2O_5).

В зависимости от среды выделены соединения разного состава:

$$[RhCl_3(H_2O)_3]+Ala \xrightarrow{pH=5-6} Rh(Ala^-)Cl_2 \cdot 2H_2O+H_2O+HCl$$

$$[RhCl_3(H_2O)_3]+2Ala \xrightarrow{pH<5} Rh(Ala)(Ala^-)Cl_2 \cdot H_2O+2H_2O+HCl$$

$$[RhCl_3(H_2O)_3]+Ala \xrightarrow{pH<2} Rh(Ala)Cl_3 \cdot 2H_2O+H_2O$$

$$[RhCl_3(H_2O)_3]+3Ala \xrightarrow{pH<2} Rh(Ala)_3Cl_3+3H_2O$$

$$[RhCl_3(H_2O)_3]+2Ser \xrightarrow{pH=4-6} Rh(Ser^-)_2Cl \cdot H_2O+2H_2O+2HCl$$

$$[RhCl_3(H_2O)_3]+2Lys \xrightarrow{pH=4-6} Rh(Lys^-)_2Cl \cdot H_2O+2HCl+2H_2O$$

$$[RhCl_3(H_2O)_3]+Asp \xrightarrow{pH=4-6} Rh(Asp^-)Cl_2\cdot 2H_2O+H_2O+HCl$$

$$[RhCl_3(H_2O)_3]+2Asp \xrightarrow{pH=4-6} Rh(Asp^-)_2Cl\cdot H_2O+2H_2O+2HCl$$

Идентификация синтезированных соединений была проведена методами химического (CHNS-O EA1108 Elemental analyzer фирмы Carlo Erbae с точностью 0,01-0,1%), рентгенофазового (дифрактометр ДРОН–3 с монохроматическим CuK_α– излучением со скоростью ¼ град/мин), термогравиметрического (термограф «МОМ Q-1500D» (Венгрия) при нагревании от 20˚С до 1000˚С) анализов, методами ИК-спектроскопии (спектрофотометр «Nexus Nicollet» в области 200-4000см$^{-1}$), ЯМР (импульсный спектрометр с Фурье-преобразованием высокого разрешения Bruker “AVANCE-300” (с рабочей частотой протонов 200,13 МГц) и спектрометр JNM-ECS400 (с рабочей частотой протонов 400 МГц) по одноимпульсной методике с широкополосным подавлением протонов).

Результаты химического анализа хорошо согласуются с предложенными формулами выделенных соединений. Хлор находится во внутренней сфере комплексов, поэтому аргентометрически (по методу Мора) не определялся. Определение родия проводили термогравиметрическим методом.

Отличие дифрактограмм полученных комплексных соединений от дифрактограмм исходных веществ позволяет сделать вывод о наличии в синтезированных соединениях собственной кристаллической решетки.

Таблица №2.

Некоторые физические свойства полученных соединений.

$Rh(Ala^-)Cl_2\cdot 2H_2O$ **$Rh(Ala)(Ala^-)Cl_2\cdot H_2O$**	порошки коричневого цвета, растворимы в воде, спирте, мало растворимы в ацетоне, плохо растворимы в эфире и растворимы в ДМСО
$Rh(Ala)Cl_3\cdot 2H_2O$	порошок светло-коричневого цвета, растворим в воде, спирте, мало растворим в ацетоне и плохо растворим в эфире, растворим в ДМСО
$Rh(Ala)_3Cl_3$	порошок кирпичного цвета, растворим в воде, спирте, мало растворим в ацетоне и плохо растворим в эфире, растворим в ДМСО
$Rh(Ser^-)_2Cl\cdot H_2O$	порошок буро-коричневого цвета, растворим в воде, спирте, мало растворим в ацетоне и плохо растворим в эфире и растворим в ДМСО
$Rh(Lys^-)_2Cl\cdot H_2O$	порошок светло-розового цвета, растворим в воде, спирте, мало растворим в ацетоне и плохо растворим в эфире
$Rh(Asp^-)_2Cl\cdot H_2O$ **$Rh(Asp^-)Cl_2\cdot 2H_2O$**	порошки кирпично-красного цвета, растворимы в воде, спирте, мало растворимы в ацетоне и плохо растворимы в эфире, растворимы в ДМСО

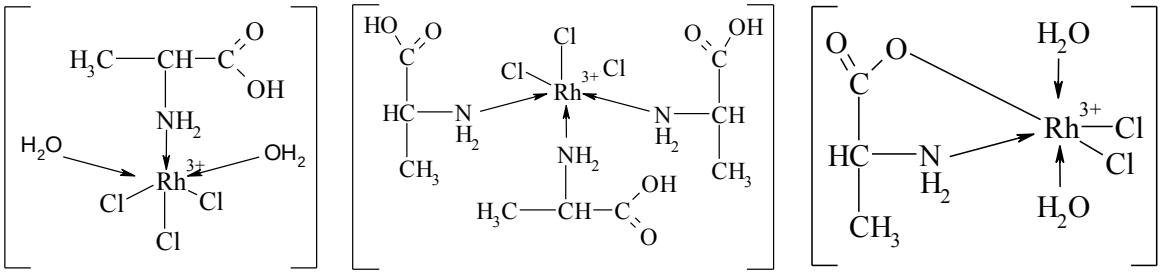
Следует отметить, что термическое разложение всех изученных монолигандных комплексов Rh(III) с аминокислотами происходит однотипно. На дериватограммах можно выделить следующие этапы термолиза: при нагревании до 100 ^oC происходит удаление молекулы воды в соединениях, в состав которых она входит. Далее удаляется хлороводород в интервале 200-300ºС, эти процессы характеризуются эндо-эффектом на кривой ДТА. При дальнейшем увеличении температуры наблюдаются экзоэффекты: например, экзотермический эффект с максимумом около 400^oC у $Rh(Ala)_3Cl_3$, у комплекса $Rh(Asp^-)_2Cl\cdot H_2O$ один мощный экзоэффект около 450^oC. Конечным продуктом термолиза является элементарный родий.

На основе анализа ИК-спектров однороднолигандных комплексов Rh(III) и, учитывая литературные данные [4], можно высказать предположение, что аминокислоты (аланин, серин, лизин и аспарагиновая кислота) в соединениях $Rh(Ala^-)Cl_2\cdot 2H_2O$, $Rh(Ser^-)_2Cl\cdot H_2O$, $Rh(Lys^-)_2Cl\cdot H_2O$, $Rh(Asp^-)Cl_2\cdot H_2O$, $Rh(Asp^-)_2Cl\cdot H_2O$ являются бидентатными лигандами,

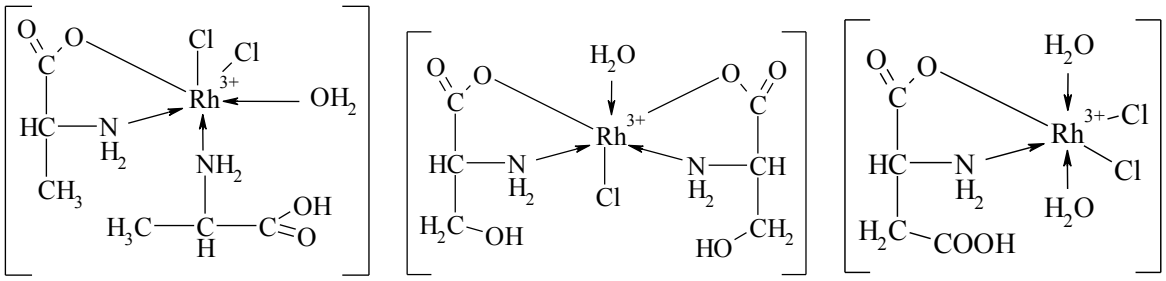
осуществляя взаимодействие с ионом металла за счет карбоксильной и амино-групп. ε-аминогруппа лизина, возможно, принимает участие в межмолекулярном взаимодействии. В ИК-спектрах соединений $Rh(Ala)Cl_3{\cdot}2H_2O$, $Rh(Ala)_3Cl_3$ присутствуют полосы неионизированной карбоксильной группы аланина, что свидетельствует о монодентатном характере координации за счет NH_2-группы аминокислоты (синтез данных соединений проводился в кислой среде). В соединении $Rh(Ala)(Ala^-)Cl_2{\cdot}H_2O$ аланин выступает как моно- и бидентатный лиганд.

Используя данные ЯМР-спектроскопии и учитывая величину изменения химического сдвига отдельных атомов ^{13}C предложено следующее строение синтезированных комплексных соединений:

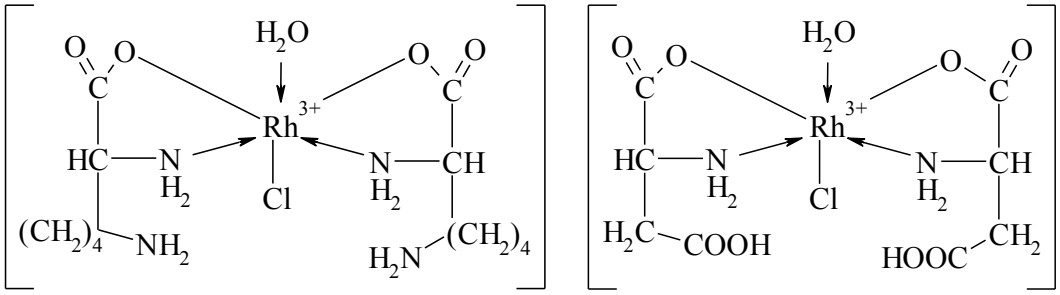
$Rh(Ala)Cl_3{\cdot}2H_2O$ $Rh(Ala)_3Cl_3$ $Rh(Ala^-)Cl_2{\cdot}2H_2O$



$Rh(Ala)(Ala^-)Cl_2{\cdot}H_2O$ $Rh(Ser^-)_2Cl{\cdot}H_2O$ $Rh(Asp^-)Cl_2{\cdot}2H_2O$



$Rh(Lys^-)_2Cl{\cdot}H_2O$ $Rh(Asp^-)_2Cl{\cdot}H_2O$



Список литературы

1. *А. Альберт, Е. Сержент.* Константы ионизации кислот и оснований.// М. 1964. С.10-33, 149-159.

2. *Н.Н. Головнев.* Новые методы влияния pH на равновесия комплексообразования в водных растворах. // ЖНХ. 2000. Т.45.№7. С.1237-1240.

3. *Я.Бъеррум.* Образование аминов металлов в водном растворе //М.: «Иностранная литература», 1961. С.308-319.

4. *К.Накамото.* «Инфракрасные спектры неорганических и координационных соединений». //М.: Мир. 1966. 441с.

5. *Х.Гюнтер.* Введение в курс спектроскопии ЯМР//М.: «Мир». 1984. 462с.

02.00.00

Т.В. Сахно[1], В.М. Курашов[1], В.М. Емельянов[2], А.Р. Кутлахметова[3], Е.В. Гусева[4], В.К. Половняк[4], Р.И. Хайдарова[5]

[1]Научно-производственный центр «Экологический консорциум», г. Казань
[2,4] Казанский национальный исследовательский технологический университет,
[2]факультет пищевой биоинженерии, [2]кафедра химической кибернетики,
[4]факультет химических технологий, [4]кафедра неорганической химии, г. Казань
[3]ОАО «Татнефть», НГДУ «Елховнефть», г. Альметьевск
[5]ОАО «Татхимфармпрепараты, г. Казань
Казань, vkpol@mail.ru

БАКТЕРИЦИДНЫЕ И АНТИОКСИДАНТНЫЕ СВОЙСТВА ПРОКСАНОЛА-168 В ПРИСУТСТВИИ СУЛЬФАТВОССТАНАВЛИВАЮЩИХ БАКТЕРИЙРОДА *DESULFOBAKTER*

Изучены процессы деградации нефти и окисления стальных пластин сульфатвосстанавливающими бактериями Desulfobacter, выделенными из Ромашкинского месторождения Республики Татарстан, в присутствии проксанола. Показано влияние низких концентраций проксанола на процессы окисления металла и биодеградации нефти. Выявлено, что проксанол с увеличением концентрации от 10^{-4} до 10^{-1} г/л интенсифицирует процессы окисления металла и биодеградации нефти.

Ключевые слова: *биодеградация, окисление, проксанол, Desulfobacter, бактерицидные свойства, антиоксидантные свойства.*

Рост добычи нефти, объемов ее переработки и транспортировки сопровождается увеличением объемов нефтезагрязнений. От 3 до 7% добытых и потребляемых нефтяных продуктов теряется безвозвратно в виде загрязнений или накапливается в виде отходов. В настоящее время на предприятиях нефтедобывающей, нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности накоплено несколько миллионов тонн нефтешламов, которые образуются при очистке сточных вод, в системе оборотного водоснабжения, бурения, подготовки нефти, во время ремонта оборудования, при чистке резервуаров. Общее число ежегодно образующегося нефтешлама на предприятиях нефтяной отрасли России составляет около 500 тыс. тонн, а ресурсы этих отходов, находящихся в земляных амбарах, оцениваются в 4,5 млн. тонн [1]. Проблема утилизации или ликвидации нефтесодержащих отходов является сложной технической задачей. Существенную помощь в решении вопроса очистки территории от нефти могут оказать биотехнологические методы, основанные на способности микроорганизмов использовать углеводороды нефти в качестве единственного источника энергии. Одними из таких микроорганизмов являются сульфатвосстанавливающие бактерии (СВБ). В частности, культура *Desulfobacter* использует для своей жизнедеятельности как органический, так и неорганический субстраты и наиболее распространена в нефтепромысловых сточных водах нефтяных месторождений. Однако естественная скорость микробиологического разрушения нефти в воде и почве достаточно низкая, процесс требует большого времени [2]. Эффективность биодеградации нефти микроорганизмами часто ограничена рядом факторов, такими, как доступность кислорода и питательных веществ, накопление продуктов метаболизма и другими. С целью уменьшения влияния лимитирующих факторов на рост и продуктивность микроорганизмов применяют различные стимулирующие вещества [3].

Перспективным соединением для интенсификации биодеградации нефти СВБ является поверхностно-активное вещество «проксанол-168», которое представляет блок-сополимер окиси этилена и окиси пропилена [4]. Проксанолы относятся к неионогенным поверхностно-

активным веществам (ПАВ). Неионогенные ПАВ в отличие от других видов ПАВ не диссоциируют при растворении на ионы, их растворимость в воде определяется наличием гидрофильной части молекулы [5]. Неионогенные ПАВ наиболее перспективный и развивающийся класс веществ. Эти соединения отличаются низкой гигроскопичностью, высокой химической стойкостью и практически не токсичны. Наличие гидрофильной оксиэтиленовой цепи обуславливает появление у неионогенных ПАВ характерных свойств, не встречающихся у ПАВ других классов. При взаимодействии оксиэтиленовых групп ПАВ с водой образуются водородные связи. Присоединение молекул воды делает оскиэтилированные соединения растворимыми в воде [6]. Проксанолы - это ПАВ, у которых гидрофобный радикал находится в центре молекулы, а гидрофильные на концах.

Целью настоящей работы являлось исследование влияния концентраций проксанола-168 на процессы интенсификации биодеградации нефти, а также на скорость процесса окисления стальных пластин.

Обсуждение результатов.

Исследование влияния проксанола-168 на биодеградацию нефти культурой *Desulfobacter*, выделенной из Ромашкинского месторождения республики Татарстан. В контрольном опыте в питательную среду вносилили 10% культуральной среды с СВБ *Desulfobacter*. В следующих опытах в питательную среду с 10% культуральной средой с СВБ *Desulfobacter* вносили проксанол при низких концентрациях ($C_{прок}$) в интервале 10^{-4} – 10^{-1} г/л. Наблюдения вели в течение 12 месяцев. Для оценки влияния проксанола на рост культуры *Desulfobacter* определяли концентрацию биомассы в среде по оптической плотности с пересчетом на вес абсолютно сухой биомассы (АСБ) по калибровочному графику [7].

Кривые роста (Рис. 1) показывают, что проксанол-168 с ($C_{прок}$) = 10^{-4} – 10^{-1} г/л интенсифицируют рост микроорганизмов на 32%, 57%, 71%, 85% соответственно. Введение проксанола-168 при ($C_{прок}$) = 10^{-4} – 10^{-1} г/л увеличивает скорость роста и сокращает лаг фазу культуры *Desulfobacter*. В частности, при ($C_{прок}$) = 10^{-1} г/л наблюдается увеличение скорости роста и сокращение лаг-фазы культуры *Desulfobacter* с 3-х до 1.5 месяца. Лог-фаза роста культуры в присутствии проксанола-168 наступает быстрее и длится дольше по сравнению с контрольным опытом. В частности, при с = 10^{-1} г/л лог-фаза приходится на 4.8 месяца, в контрольном опыте на 6.5 месяц. В контрольном опыте стационарная фаза приходится на 12-ый месяц, и концентрация биомассы достигает 25 г/л. Микроорганизмы в присутствии проксанола-168 при ($C_{прок}$) = 10^{-4} – 10^{-1} г/л выходят на стационарную фазу более быстро (с 9-го месяца) и через 10 месяцев достигают максимума роста биомассы соответственно концентрациям ($C_{прок}$) до 33, 39.25, 42.75, 46.25 г/л. Таким образом, проксанол-168 в области концентраций 10^{-4} – 10^{-1} г/л увеличивает скорость роста культуры в 1.32, 1.57, 1.71, 1.85 раза соответственно концентрациям ($C_{прок}$). Наибольшая интенсификация роста микроорганизмов достигается при ($C_{прок}$) = 10^{-1} г/л и это составляет 85% по сравнению с контрольным опытом.

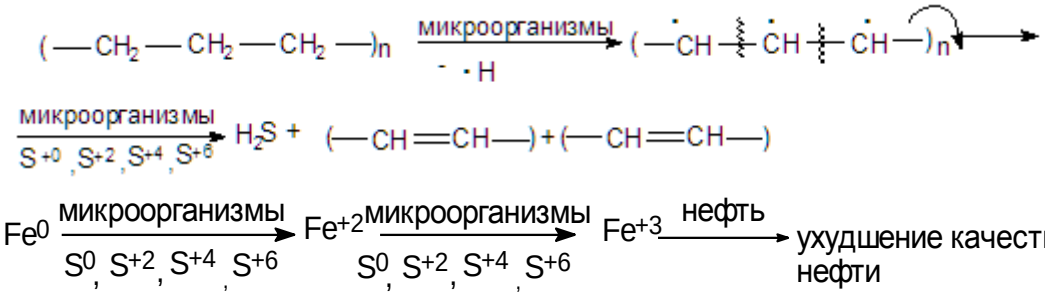
Биодеградацию нефти в присутствии проксанола-168 определяли по потреблению нефти культурой СВБ *Desulfobacter* в водонефтяной эмульсии.

Потребление нефти определяли по остаточной концентрации нефти в среде. По убыли количества нефти судили о деструктивной способности микроорганизмов. В контрольном опыте в питательную среду вносили 10% культуральной среды с СВБ *Desulfobacter*. В следующих опытах в питательную среду с 10% культуральной средой с СВБ *Desulfobacter* вносили проксанол-168 с ($C_{прок}$) = 10^{-4} – 10^{-1} г/л. В течение 12 месяцев вели наблюдения (Рис. 2).

Исследования показали, что проксанол-168 при увеличении ($C_{прок}$) от 10^{-4} до 10^{-1} г/л интенсифицирует процесс биодеградации нефти культурой *Desulfobacter*. Наибольшая интенсификация процесса биоразложения нефти наблюдается при ($C_{прок}$) = 10^{-1} г/л. Потребление нефти культурой *Desulfobacter* при ($C_{прок}$) = 10^{-1} г/л за 12 месяцев составило 108.8 мл из внесенных 125 мл, что составляет 87%. В контрольном опыте потребление нефти составило 36.7 мл из внесенных 125 мл, что составляет 29.4%.

Интенсификация биодеградации нефти в присутствии проксанола-168 наблюдалась, начиная с 1-го месяца в зависимости от концентрации. Например, при ($C_{прок}$) = 10^{-1} г/л за 4 месяца культура потребила 26 мл нефти; в контрольном опыте – 9 мл. Через 8 месяцев интенсификация биодеградации нефти в присутствии проксанола-168 при ($C_{прок}$) = 10^{-4} – 10^{-1} г/л замедляется и через 10 месяцев выходит на стационарную фазу. В контрольном опыте культура продолжает деградировать нефть до 12 месяца. Таким образом, кинетика потребления нефти культурой *Desulfobacter* показала, что в течение 12 месяцев проксанол-168 при ($C_{прок}$) = 10^{-4} – 10^{-1} г/л увеличивает процессы биодеградации нефти до 87% или в 2 - 3 раза по сравнению с контрольным опытом.

Исследование влияния проксанола-168 на окисление металла культурой Desulfobacter. В процессе жизнедеятельности СВБ осуществляют перенос электрона к положительно заряженной сере, продуцируя коррозионно-активный сероводород. В связи с этим в нефти и нефтепромысловых сточных водах непрерывно под действием СВБ идут окислительные процессы. В свою очередь и окислительные процессы, и сероводород приводят к окислению трубопроводов из стали и ухудшению качества нефти. Сталь содержит 98% железа или Fe^0 и СВБ, благодаря своей окислительной деятельности, начинают забирать электроны от Fe^0, окисляя его. Вначале Fe^0 окисляется до Fe^{+2}, затем во влажной атмосфере и в присутствии кислорода воздуха окисляется до Fe^{+3}, которое является сильным окислителем, разрушающей металл и нефть:



Оценку влияния проксанола-168 при ($C_{прок}$) = 10^{-4} – 10^{-1} г/л на процесс окисления стальных пластин, взятых в качестве модели материала трубопровода, проводили по методике определения степени окисления пластин.

Исследования показали (Рис. 3), что при увеличении концентрации проксанола-168 от 10^{-4} до 10^{-1} г/л интенсифицируется процесс окисления металла культурой *Desulfobacter*. Коррелирование кривых рисунка (Рис. 3) с кривыми рисунков (Рис. 1-2) показало, что максимальная скорость окисления стальных пластин достигается в логарифмических стадиях роста биомассы и потребления нефти микроорганизмами. При ($C_{прок}$) = 10^{-1} г/л максимальная скорость окисления стальных пластин приходится на 4.8 месяца и составляет 3.705 г/(см^2*месяц), что соответствует логарифмическим фазам роста биомассы и потребления нефти культурой. Чистая культура без проксанола-168 постепенно в течение 12 месяцев окисляет пластину. Максимум окисления приходится на 7 месяц и составляет 1.17 г/(см^2*месяц), что на 32% меньше, чем в присутствии проксанола-168 при ($C_{прок}$) = 10^{-1} г/л. При увеличении концентрации проксанола-168 от 10^{-4} г/л до 10^{-1} г/л за первые 6 месяцев значительно интенсифицируется окисление, и скорость микробиологического окисления пластин в среднем в 3.6 раза больше, чем в контрольном опыте. Начиная с 8 месяца, интенсификация окислительных процессов падает; в контрольном опыте окисление стальных пластин замедляется на 11 месяц. В среднем, проксанол-168 при ($C_{прок}$) = 10^{-4}–10^{-1}г/л интенсифицирует окисление стальных пластин в 1.4, 2.11, 2.7, 3.23 раза соответственно по сравнению с контрольным опытом. Таким образом, наблюдается корреляция скорости окисления стальных пластин со скоростями роста микроорганизмов и скоростями потребления нефти культурой.

Проксанол-168 в области низких концентраций с увеличением концентрации от 10^{-4} г/л до 10^{-1} г/л интенсифицирует как процесс окисления металлов, так и биодеградацию нефти, в среднем, в 2.36 раза (до 87%) по сравнению с контрольным опытом.

Экспериментальная часть

Для изучения кинетики биодеградации нефти и окисления стальных пластин брали водонефтяную эмульсию, отобранную с Ромашкинского месторождения Республики Татарстан. Процент обводненности нефти составлял 50%. В процессах изучения биодеградации нефти и окисления стальных пластин использовались СВБ культура *Desulfobacter*, выделенная из Ромашкинского месторождения РТ.

Водонефтяная эмульсия содержала 7 г/л NaCl, 1 г/л $MgCl_2*6H_2O$, 4 г/л Fe^{2+}. Оптимальные диапазоны роста культуры pH = 6.5 – 7.4, температуры 20-33^{0}C.

Для изучения кинетики биодеградации нефти и окисления стальных пластин брали отстоявшуюся водонефтяную эмульсию в количестве 250 мл. После отстаивания водонефтяная эмульсия разделилась на 125 мл нефти в верхнем слое и 125 мл воды в нижнем слое. В каждый опыт вносили культуральную среду *Desulfobacter* в объёме 10% от объёма водонефтяной эмульсии и проксанол-168 с ($C_{прок}$) = 10^{-4} – 10^{-1} г/л. В контрольный опыт проксанол-168 не вносили. Исследования проводились в течение 12 месяцев.

О деструктивной способности микроорганизмов судили по остаточному объему нефти в среде.

Оценку антиоксидантных свойств проксанола-168 проводили по методике определения степени окисления стальных пластин. Эта операция сводится к сравнению скорости коррозии металлических образцов в среде без добавок проксанола-168 со скоростью коррозии в той же среде при наличии в ней определенной концентрации добавок проксанола-168 [8]. Металлические образцы – сталь марки Х18Н-10Т (легированная сталь). Исследования проводили в стеклянных градуированных мерных сосудах обьемом 250 мл, в которые наливали 250 мл отстоявшейся водонефтяной эмульсии с обводненностью 50%, 10% культуры *Desulfobacter* в питательной среде и погружали металлические пластинки. Проводили контрольный опыт без проксанола-168 и опыты с проксанолом-168 при ($C_{прок}$) = 10^{-4} – 10^{-1} г/л. Сосуды держали закрытыми при комнатной температуре в течение 12 месяцев. Каждый месяц пластины вынимали из среды, поверхность очищали от продуктов коррозии и рассчитывали скорость коррозии по формуле:

$$P = \frac{m_1 - m_2}{S\tau} 10000,$$

где P – скорость окисления, г/м^{2}месяц; m_1 – масса образца до испытания, г; m_2 – масса образца после испытания, г; S – площадь поверхности образца, см^2; τ – продолжительность опыта, месяц.

Заключение

Таким образом, изучение процессов биодеградации нефти и окисления стальных пластин сульфатвосстанавливающими бактериями *Desulfobacter*, выделенными из Ромашкинского месторождения Республики Татарстан, в присутствии проксанола-168 показало, что в области низких концентраций ($C_{прок}$) = 10^{-4} - 10^{-1} г/л данный препарат интенсифицирует рост микроорганизмов до 87%, что является перспективным для его применения в микробиологических процессах очистки территорий и акваторий от нефтяных загрязнений, а также при решении проблем утилизации нефтесодержащих отходов, и в области биогеотехнологии при окислении металлов с целью их извлечения из руд.

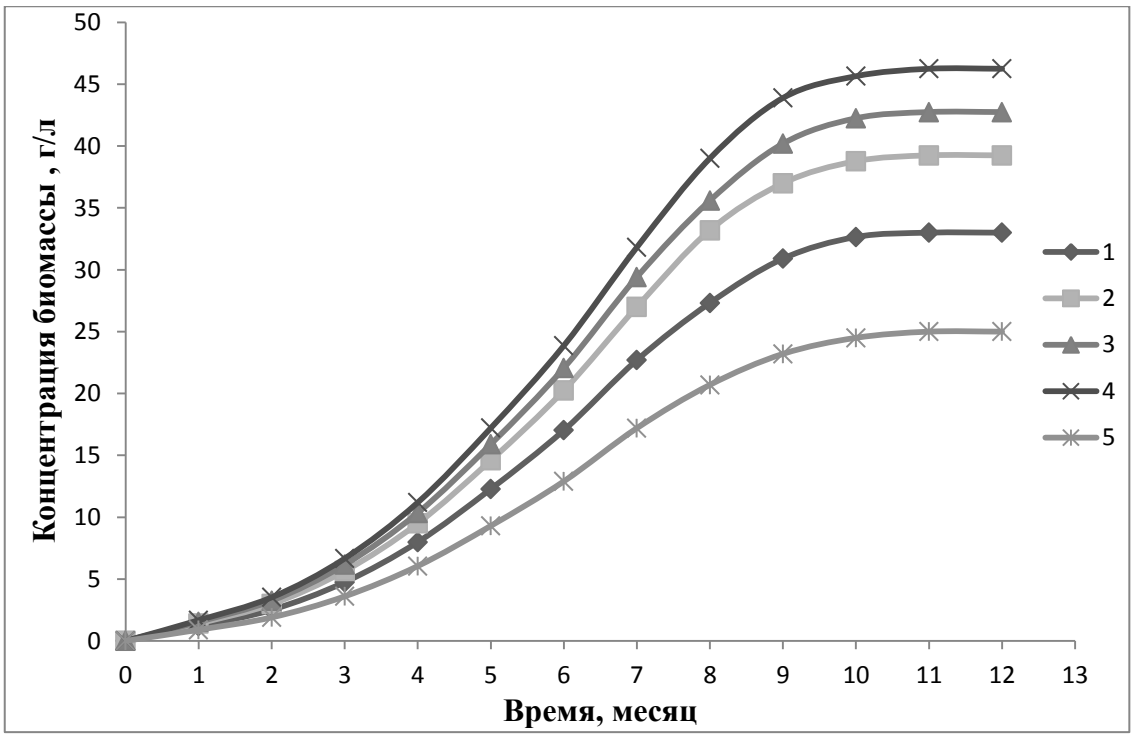


Рис. 1 - Кривые роста культуры *Desulfobacter*: без добавления проксанола - 5; в присутствии проксанола в различных концентрациях: $C_{прок} = 10^{-4}$ г/л – 1; $C_{прок} = 10^{-3}$ г/л – 2; $C_{прок} = 10^{-2}$ г/л – 3; $C_{прок} = 10^{-1}$ г/л – 4

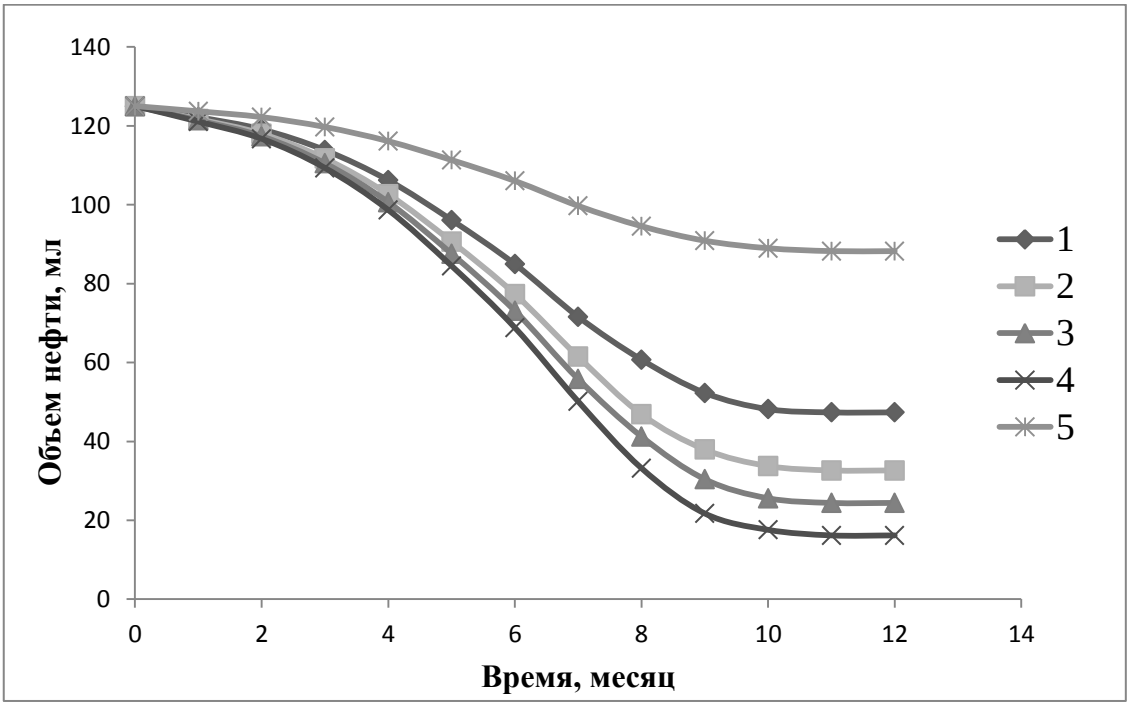


Рис. 2 - Кинетика потребления нефти культурой *Desulfobacter*: без добавления проксанола - 5; в присутствии проксанола в различных концентрациях: $C_{прок} = 10^{-4}$ г/л – 1; $C_{прок} = 10^{-3}$ г/л – 2; $C_{прок} = 10^{-2}$ г/л – 3; $C_{прок} = 10^{-1}$ г/л – 4

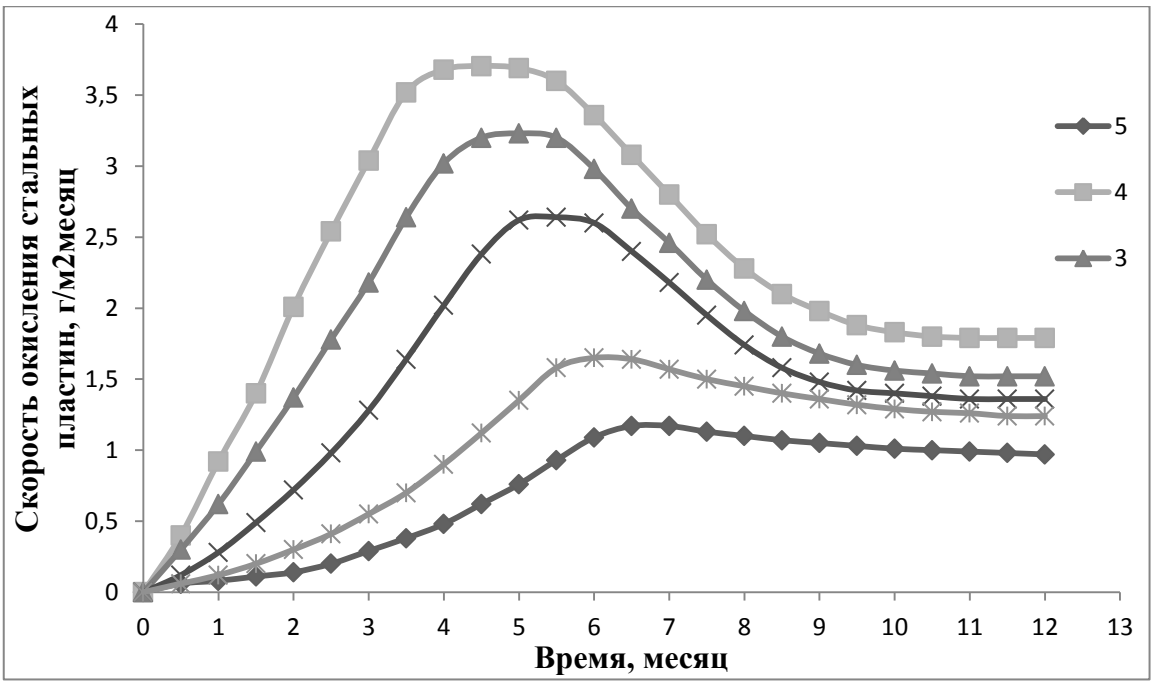


Рис. 3 - Кинетика микробиологического окисления стальных пластин культурой *Desulfobacter*: без добавления проксанола - 5; в присутствии проксанола в различных концентрациях: $C_{прок} = 10^{-4}$ г/л – 1; $C_{прок} = 10^{-3}$ г/л – 2; $C_{прок} = 10^{-2}$ г/л – 3; $C_{прок} = 10^{-1}$ г/л – 4

Список литературы

1. http://www.tekhnospas.ru/uslugi/processing/ (дата обращения 04.04.2012).
2. *Курашов В.М.* Восстановление плодородия почв и чистоты водоемов, нарушенных в результате загрязнения нефтью и засоления нефтепромысловыми водами // Научному прогрессу – творчество молодых: тезисы докл. Сборник материалов Международной научной студенческой конференции по естественнонаучным и техническим дисциплинам (Йошкар-Ола. 18-19 апр. 2008 г.).– Йошкар-Ола , 2008 . - С.174
3. *Sakhno T.V.* Recovery of Soils Become Degraded Owing to Simultaneous Contamination with Petroleum and Salted with Oil-Production Waters. Combined Program // The 1st International Conference on Remediation of Soil, Sediment and Groundwater : Biological, Chemical and Physical Treatments (RSSG –1) (San Diego, California, 22-25 Sept. 2008). - San Diego, California, 2008. - P. 18
4. *Sakhno T.V., Emelyanov V.M., Kurashov V.M.* Intensification of Removal of Hydrocarbon Contamination from Water and Soil Using Oxygen Transferors. Remediation Engineering of Contaminated Soils, 2nd Edition of Marcel Dekker // New-York , 2000,Chapter 13, P. 279-289.
5. *Абрамзон А.А.* ПАВ.- Л.:Химия, 1981. – С. 303
6. *Закупра В.П.* Анализ ПАВ. – К.: Техника, 1972. – С.186
7. *Мухаметшина А.М.* разработка технологии получения высокоэффективного биологически активного вещества «ТРИМИКСАН» широкого спектра действия: Автореф. дис. канд. техн. наук. – Казань, 2008. – 19 с.
8. Синтез и испытание поверхностно-активных веществ для нефтепромыслов: методические указания к УИРС / Казан. гос. технол. Ун-т; Сост.: А.А. Гречухина, А.А. Елпидинский.- Казань, 2005. – 56 с.

02.00.04

[1,2]А.К. Чубенко, [1,2]А.И. Мамаев д.х.н.,
[1,3]Ю.Ю. Будницкая к.т.н., [1,4]Т.И. Дорофеева к.х.н.

[1]ООО «Сибспарк», г. Томск
[2] Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск
[3] Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск
[4]Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, г. Томск

РОЛЬ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ТОКОВОГО ИМПУЛЬСА КАК ФАКТОРА УПРАВЛЕНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ АНОДНО-ОКСИДНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ПРИМЕРЕ СПЛАВА АЛЮМИНИЯ Д16

Рассмотрены теоретические закономерности локализации энергии в условиях импульсного электровоздействия на электрохимическую систему, в соответствии с которыми длительность импульса напряжения является инструментом управления величиной и пространственной областью локализации энергии на границе раздела фаз металл – раствор электролита. Приведены экспериментальные данные, которые показывают, что с увеличением длительности формирующих импульсов происходит увеличение пористости и шероховатости покрытий и возрастание доли элементов, вовлекаемых в состав покрытия из электролита.

Ключевые слова: *микродуговое оксидирование, приэлектродный слой, локализация энергии, физико-механические характеристики покрытий.*

Введение

Одной из важнейших задач в машиностроении и других областях техники является повышение надежности и долговечности изделий, снижение металлоемкости их производства. Микродуговое оксидирование (МДО) поверхности изделий из металлов вентильной группы позволяет сформировать прочное оксидное покрытие с твердостью, близкой к корунду, хорошей износостойкостью, и высокими антикоррозионными свойствами [1].

Проведение исследований в области формирования МДО покрытий в условиях импульсного электровоздействия на границу раздела фаз является особенно актуальным вследствие того, что данный режим по сведениям ряда источников [2 - 4] является наиболее экономичным.

Теоретические предпосылки

В работе [5] приведено уравнение для плотности энергии, локализуемой на границе раздела фаз металл-раствор электролита в условиях импульсного электровоздействия:

$$q(x,t)=\frac{0{,}25z^2\cdot F^2\cdot D\cdot\left(C_0-C_s\right)^2\cdot\left[\operatorname{erfc}\frac{x}{2\sqrt{Dt}}\right]^2}{K\cdot\left[\left(C_0-C_s\right)\cdot\operatorname{erf}\frac{x}{2\sqrt{Dt}}+C_s\right]},$$

где K_1 – коэффициент пропорциональности, z – число электронов участвующих в электродной реакции, F – постоянная Фарадея, D – эффективный коэффициент диффузии, t – длительность импульса, C_s – концентрация ионов на бесконечно малом удалении от поверхности электрода, C_0 – концентрация ионов в объеме раствора.

На рисунке 1 представлено графическое распределение плотности энергии вблизи границы раздела фаз при следующих условиях: электролит – 1М раствор KCl, C_0 = 1 моль/л, D = 10^{-5} $см^2/с$, C_s = 0,0001 моль/л, K_1 = 0,7397 л/(Ом·см·моль).

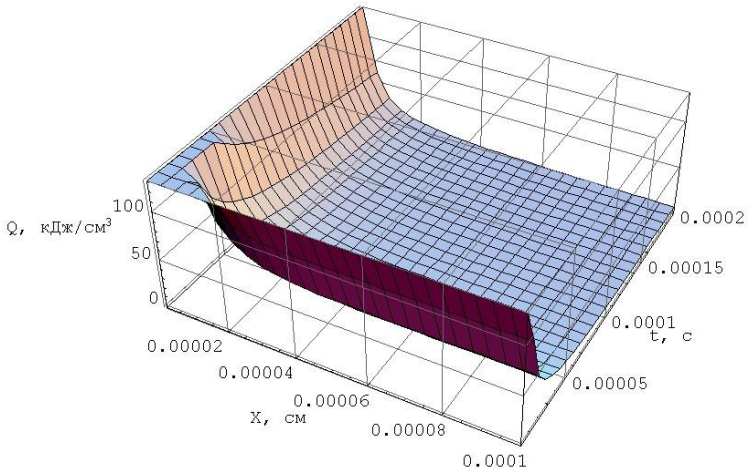


Рис. 1 – Распределение плотности энергии в зависимости от длительности импульса (t) и толщины барьерного слоя (X)

Анализ представленного графического распределения позволяет считать, что для нестационарных импульсных процессов на границе раздела фаз длительность импульса напряжения является инструментом управления процессом локализации энергии, а, следовательно, также является управляющим фактором в процессе формирования МДО покрытий.

Целью настоящей работы являлось установление взаимосвязи между физико-механическими характеристиками анодно-оксидных покрытий и длительностью формирующих импульсов напряжения.

Экспериментальная часть

Образцы рабочих электродов, на поверхности которых осуществляли формирование МДО покрытий, были изготовлены из сплава алюминия Д16. В качестве электролита выступал фосфатно-боратный водный раствор, содержащий $KMnO_4$ из расчёта 10 г/л. Рабочий электрод служил анодом. Амплитуда напряжения для всех образцов в течение времени нанесения покрытий оставалась постоянной и составляла 310 В. Длительность импульса варьировалась от 50 мкс до 500 мкс. Время формирования составляло 1200 с.

Измерение шероховатости сформированных покрытий проводили согласно ГОСТ 2789-73 и МИ41-75 на приборе профилометр портативный модели 296. Пористость покрытий определялась двумя методами: гидростатического взвешивания (объёмная пористость), стереологическими методами, путем обработки фотографий поверхности исследуемых образцов, полученных на растровом электронном микроскопе ISM – 84. Определение состава покрытий проводили микрорентгеноспектральным методом на растровом электронном микроскопе ISM – 84 с приставкой элементного анализа Link – 860.

Результаты и обсуждение

Физико-механические характеристики сформированных методом МДО анодно-оксидных покрытий и данные о содержании алюминия и марганца приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Влияние длительности импульсов напряжения на физико-механических характеристики и состав анодно-оксидных покрытий

Длительность импульса, мкс	50	70	100	150	200	250	300
Шероховатость R_a, мкм	1,02	1,07	1,58	1,95	2,13	2,28	3,05
Средний диаметр пор $d_{ср}$, мкм	1,94	1,85	3,67	4,14	4,71	4,33	4,83
Общая пористость покрытия П, %	8,73	11,12	44,77	42,86	39,98	36,15	54,13
Содержание Al, мас. %	31,56	29,91	26,21	25,97	29,18	24,48	20,00
Содержание Mn, мас. %	45,31	50,35	57,73	56,26	53,23	57,66	62,43

Из приведенных данных видно, что с увеличением длительности импульсов напряжения пористость и шероховатость покрытия увеличиваются. Низкие значения шероховатости достигаются при малых значениях длительности импульсов тока. Также с увеличением длительности импульсов от 50 до 300 мкс количество марганца в покрытии существенно увеличивается (от 45% до 62%), количество алюминия в покрытии снижается от 31% до 20%.

Согласно приведенному выше распределению плотности энергии вблизи границы раздела фаз, толщина слоя, в котором происходит максимальное концентрирование подводимой энергии, пропорциональна длительности импульса. Поэтому с увеличением длительности импульса следует ожидать увеличения содержания в покрытии тех элементов, которые содержатся в электролите, и уменьшения содержания элементов основы. Экспериментальные данные об увеличении содержания в покрытии марганца – элемента, входящего в состав электролита, и уменьшения доли материала основы (алюминий) с увеличением длительности импульса полностью подтверждают данное модельное представление.

Заключение

Приведены экспериментальные данные по зависимости физико-механических характеристик и элементного состава МДО покрытий от длительности токового импульса, служащие подтверждением ее роли как фактора управления локализацией энергии. С увеличением длительности импульсов происходит увеличение пористости и шероховатости покрытий. Также с увеличением длительности импульсов от 50 до 300 мкс количество марганца в покрытии существенно увеличивается (с 45 до 62%), количество элемента основы (алюминия) в покрытии снижается с 31 до 20%.

Список литературы

1. *Суминов И.В., Эпельфельд А.В., Людин В.Б. и др.* Микродуговое оксидирование (теория, технология, оборудование). – М.: ЭКОМЕТ, 2005. – с. 318.
2. *Будницкая Ю.Ю.* Конструирование и технология получения оксидных покрытий с заданными физико-химическими свойствами в импульсном микроплазменном режиме: дисс. канд. техн. наук. – Томск: ТГУ, 2003. – с. 119.
3. *Мамаев А.И. и др.* Формирование наноструктурных неметаллических неорганических покрытий путем локализации высокоэнергетических потоков на границе раздела фаз: учеб. пособие. – Томск: ТГУ, 2010. – с. 300.
4. *Мамаев А.И., Мамаева В.А.* Сильнотоковые процессы в растворах электролитов. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2005. – с. 92.
5. *Мамаев А.И. и др.* Физико-химические закономерности процессов при локализации высокоэнергетических потоков на границе раздела фаз. Теория. Математические модели // Известия вузов. Физика – 2011 – Т. 54 – № 9/2 – с. 87-98.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

05.13.06

Д.А. Акимов

Московский государственный университет приборостроения и информатики,
факультет информатики,
кафедра «Автоматизированные системы управления и информационные технологии»,
Москва, akimovdmitri@gmail.com

БЕСКОНТАКТНЫЙ ИНТЕРФЕЙС ДЛЯ ОПЕРАТОРОВ УПРАВЛЕНИЯ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ СИСТЕМАХ КОНТРОЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ

Настоящая работа посвящена обсуждению проблемы создания интерфейсов и систем съёма информации с глаз для контроля технологических процессов в промышленности.

Ключевые слова: *компьютерное зрение, нечёткие нейронные сети, нечеткая логика, промышленные системы управления, распознавание образов, интеллектуальные интерфейсы.*

Работа посвящена созданию бесконтактных интерфейсов и разработки на их основе кроссплатформенного программно-аппаратного комплекса, предназначенного для бесконтактного управления системами контроля технологических процессов в промышленности.

Ключевые слова: Бесконтактный интерфейс, управление глазами, интерфейс операторов, управление технологическим процессом.

Введение

С развитием автоматизации управления современными сложными системами на основании информационной модели, т.е. с появлением операторской деятельности, появилась необходимость создавать удобные средства отображения данных при контроле и управлении технологическим процессом. Возможности оператора расширились благодаря развитию техники, но техника в свою очередь стала настолько сложной, что человеку уже трудно управлять ею. Возникла задача согласования конструкций машин с психологическими и физиологическими возможностями оператора.

На оператора ложится большая информационная нагрузка, при этом оператор должен отслеживать информацию на нескольких дисплеях с несколькими диалоговыми окнами.

В данных ситуации возможно частичное решение проблемы с помощью создания интерфейсов нового типа, основанного на бесконтактном считывании биометрических параметров, например положение глаза. Часть действий по контролю возможно переложить на систему управления с помощью глаз, в том числе действия переключения между окнами и управления информационными потоками, тем самым разгрузив другие управляющие каналы человека, например руки и речь. Современный уровень развития информационных технологий позволяет создавать так называемые бесконтактные интерфейсы на основе считывания информации о положении глаза.

Программная система управления с помощью глаз.

Для обнаружения положения зрачка глаза возможно использовать различные технические и программно-математические средства. Данные с веб-камеры представляют собой изображение человеческой головы, из которого после предобработки и обнаружения области лица, идентифицируются области глаз и определяется направление взгляда.

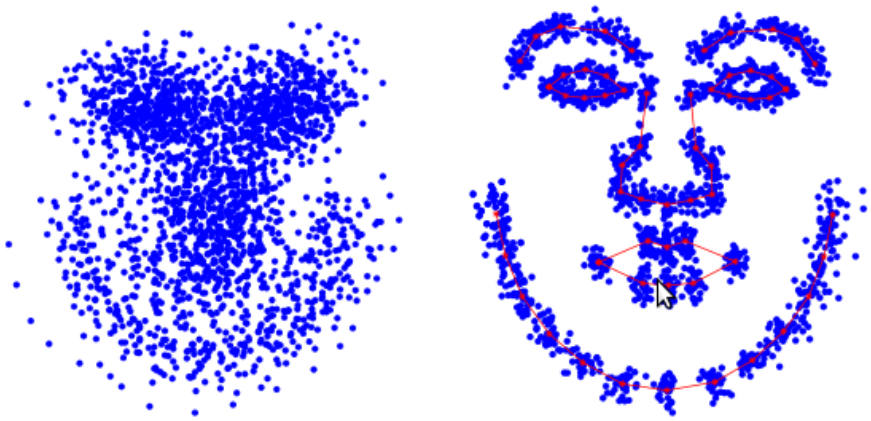


Рисунок 1. Статистическая нормализация контуров лица для обучающей выборки системы распознавания.

Рассмотрим принцип работы алгоритмов активных моделей внешнего вида. В активных моделях внешнего вида моделируются два типа параметров: параметры, связанные с **формой** (параметры формы), и параметры, связанные со статистической моделью изображения или **текстурой** (параметры внешнего вида). Перед использованием модель должна быть обучена на множестве заранее размеченных изображений. Разметка изображений производится вручную или в полуавтоматическом режиме, когда с помощью какого-либо алгоритма находятся приближенные расположения меток, а затем они уточняются экспертом. Каждая метка имеет свой номер и определяет характерную точку, которую должна будет находить модель во время адаптации к новому изображению.

Следует отметить, что различают модели активного внешнего вида с жесткой и не жесткой деформацией. Модели с жесткой деформацией могут подвергаться только аффинным преобразованиям (поворот, сдвиг, масштабирование), в то время как модели с не жесткой деформацией могут подвергаться и другим видам деформаций. На практике используется комбинация обоих видов деформаций. В этом случае к параметрам формы добавляются еще и параметры расположения (угол поворота, масштаб, смещение или коэффициенты аффинного преобразования).

Процедура обучения для компонентов внешнего вида выполняется после того, как вычислены компоненты формы (базовая форма и матрица главных компонент). Процесс обучения здесь состоит из трех шагов. На первом шаге выполняется извлечение из обучающих изображений текстур, которые наилучшим образом соответствуют базовой форме. Для этого выполняется триангуляция меток базовой формы и формы, состоящей из меток обучающего изображения. Затем с помощью кусочной интерполяции выполняется отображение полученных в результате триангуляции регионов обучающего изображения в соответствующие регионы формируемой текстуры.

После того, как все текстуры сформированы, на втором шаге производится их фотометрическая нормализация для того, чтобы компенсировать различные условия освещения. В настоящее время разработано большое число методов, позволяющих это сделать. Самый простой из них – вычитание среднего значения и нормализация дисперсии яркости пикселей.

Наконец на третьем шаге, из текстур формируется матрица, такая, что каждый ее столбец содержит значения пикселей соответствующей текстуры. Стоит отметить, что используемые для обучения текстуры могут быть как одноканальными (градации серого), так и многоканальными (например, пространство цветов RGB или другое). В случае многоканальных текстур векторы пикселей формируются отдельно по каждому из каналов, а потом выполняется их конкатенация.

Для определения позы, новый вид глаза накладывается на каждый шаблон, и пиксельная метрика используется для сопоставления изображений. Однако, даже с безупречной

регистрацией, изображения двух различных людей не будут подобраны точно, так как расположение деталей варьируется среди людей. Рассмотрим шаблон, основанный на деформируемом графе локальных лицевых точек (уголки глаз, надбровные дуги и др.). Для обучения такой системы, местоположения лицевых точек могут быть отмечены вручную на каждом тренировочном образце, и локальные дескрипторы деталей, могут быть извлечены из каждого расположения. Эти детали могут быть получены из видов различных людей, и дополнительные инвариантности могут быть выполнены посредством хранения связки дескрипторов в каждом узле. Такое представление было названо Эластичным связным графом, и оно обладает возможностью представления нежестких, или деформированных объектов.

Рисунок 2. Модель глаза на текстурном изображении

Программная система осуществляет идентификация глаза и направления движения зрачка или световой метки необходимо для дальнейшего формирования команд разрабатываемому интерфейсу. Глаз имеет хаотические движения и точное слежение за ним затруднит позиционирование курсора. Одним из вариантов распознавания является обработка параметров положения световой метки или зрачка с помощью методов нечеткой логики и нейросетевых подходов.

Рисунок 3. Архитектура программной системы управления с помощью глаз.

Результаты применения системы распознавания области глаз в видеопотоке.

Программная система SmartInterface предназначена для работы в реальном режиме времени, основными временными характеристиками является время получения и обработки кадра видеоизображения, написана на языке C++.

Распознавание глаз реализовано с помощью класса алгоритмов Active Appearance Models. Система работает в режиме реального времени, с частотой от 10 до 30 кадров в секунду.

Рисунок 4. Результат распознавания контуров глаз.

Определение областей глаз не превышает 0,6 см при комнатном освещении и разрешении 640x480, с расстояния 1 м.

Список литературы

1. *Баканов, А.С.* Проектирование пользовательского интерфейса: эргономических подход / А.С. Баканов, А.А. Обознов. - М.: Изд-во «Институт психологии РАН», 2009.
2. Инженерная психология в применении к проектированию оборудования: пер. с англ.; под ред. Б.Ф. Ломова и В.И. Петрова. — М.: Машиностроение, 1971.
3. *Леоненков А.В.* Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH – СПб.: БХВ-Петербург, 2003. – 736 с.: ил.
4. *Падерно, П.И., Попечителев, Е.П.* Надёжность и эргономика биотехнических систем / Под общ. ред. проф. Е.П. Попечителева. - СПб.: ООО «Техномедиа» / Изд-во «Элмор», 2007.
5. *Янушкина Н.Г.* Основы теории нечетких и гибридных систем: Учеб. пособие. М.: Финансы и статистика, 2004. –320 с.

05.02.13

В.А. Аришин, К.В. Сызранцева, к.т.н.

Тюменский государственный нефтегазовый университет,
институт геологии и нефтегазодобычи,
г. Тюмень, nishira@yandex.ru

РАСЧЕТ, ОПТИМИЗАЦИЯ И ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ДЕМПФИРУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА ОСЕВЫХ КОЛЕБАНИЙ БУРИЛЬНОЙ КОЛОННЫ

В статье представлены результаты расчета и оптимизации демпфирующего элемента устройства компенсации осевых колебаний в условиях неглубокого залегания твердых горных пород. Предложен метод оценки надежности демпфирующего элемента при различных условиях нагружения на этапе его проектирования.

Ключевые слова: *бурение скважин, демпфирующий элемент, надежность метод конечных элементов, случайный режим нагружения, непараметрическая статистика.*

При бурении скважин в условиях, когда твердые породы залегают на небольшой глубине, буквально с первых метров, возникают значительные вибрации на бурильной колонне и оборудовании связанном с ней. В такой ситуации, когда длина буровой колонны невелика и осевая нагрузка на долото минимальна, необходимо эффективное устройство для компенсации осевых толчков и вибраций. При этом форма демпфирующего элемента (ДЭ) должна позволять при значительном превышении нагрузки не терять устойчивость и не разрушаться. Условие сохранения формы при увеличении глубины бурения и, соответственно, увеличения длины и веса бурильной колонны позволит не производить дополнительных спускоподъемных операций для извлечения демпфирующего устройства.

Первоначально была предложена форма ДЭ, представляющая собой цилиндр с несколькими прорезями, перпендикулярными оси вращения, по две в одной плоскости. Прорези выполнены таким образом, что каждые две пары соседних прорезей повернуты друг относительно друга на 90º. Материал демпфирующего элемента: сталь 65Г (предел текучести (σ_m) - 1220 МПа).

Для исследования и поиска оптимальной модели ДЭ был выбран метод конечных элементов, реализованный в программном комплексе ANSYS. Результат расчета напряженно-деформированного состояния первоначальной конструкции под воздействием осевой нагрузки (F_a) 30 кН приведен на рисунке 1. При такой форме ДЭ максимальные напряжения составили 512.4 МПа, а сжатие – 0.8 мм.

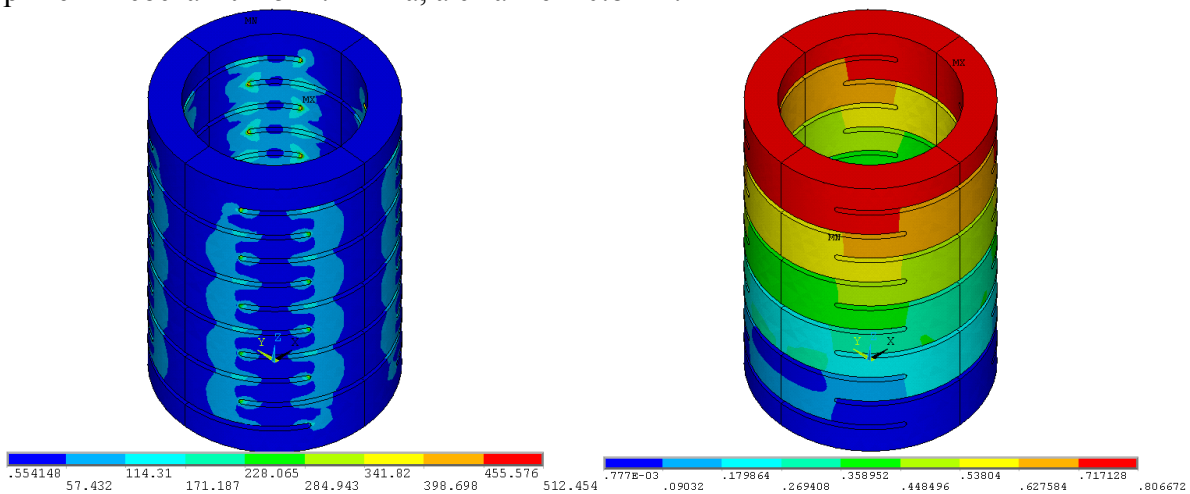


Рис. 1 – Результат расчета первоначальной конструкции ДЭ: слева – схема распределения эквивалентных напряжений, справа – схема распределения суммарных перемещений

Такая конструкция ДЭ не удовлетворяла поставленным требованиям. Была произведена работа по оптимизации формы таким образом, чтобы увеличить податливость ДЭ и при этом не допустить превышения предела текучести материала. В конструкции произошли следующие изменения: уменьшились толщина стенки цилиндра и расстояние между прорезями, увеличилось количество прорезей и их размер, а также были добавлены отверстия в основании прорезей для устранения концентраторов напряжений. Результат расчетов окончательной формы приведен на рисунке 2. Под действием максимальной рабочей нагрузки (30 кН) величина сжатия ДЭ составляет 15 мм, величина максимальных эквивалентных напряжений – 828.7 МПа.

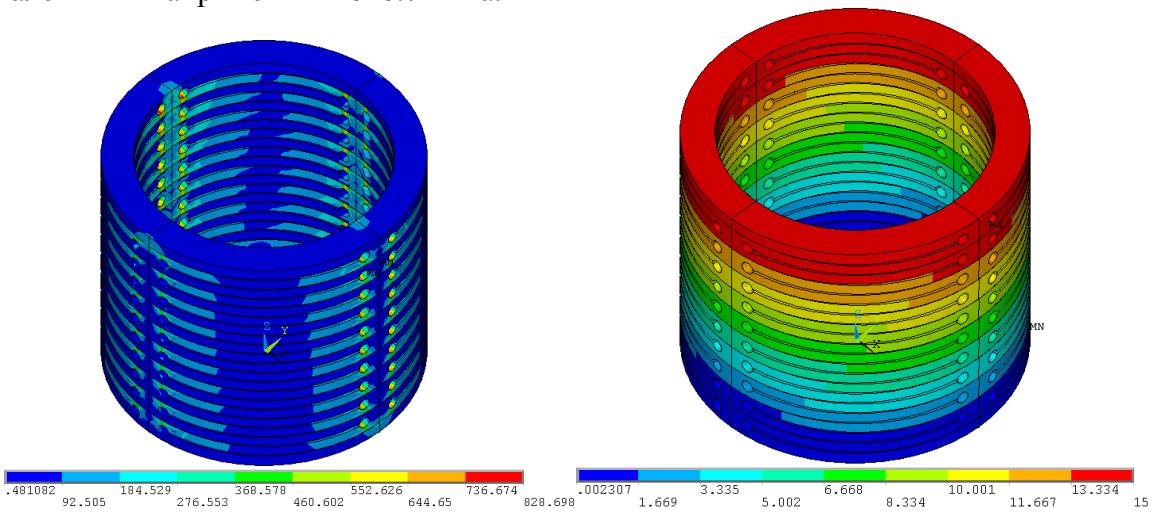


Рис. 2 – Результат расчета оптимизированной конструкции ДЭ (F_a=30 кН):
слева – картина распределения эквивалентных напряжений,
справа – картина распределения суммарных перемещений.

Модель ДЭ также была рассчитана на нагрузку, значительно превышающую рабочую (F_a=10 кН). При превышении нагрузки происходит «складывание» конструкции, и наблюдается небольшое снижение максимального значения эквивалентных напряжений за счет их перераспределения из мест концентраторов напряжений в места контакта между витками. Максимальное перемещение – 15.08 мм, максимальные эквивалентные напряжения – 818.7 МПа.

По результатам дополнительно проведенных расчетов оптимизированной модели при варьировании осевой нагрузки в интервале от 0.1 до 30 кН была восстановлена зависимость максимальных эквивалентных напряжений от величины осевой силы (рисунок 3):

$$\sigma_{экв} = f(F_a) \qquad (1)$$

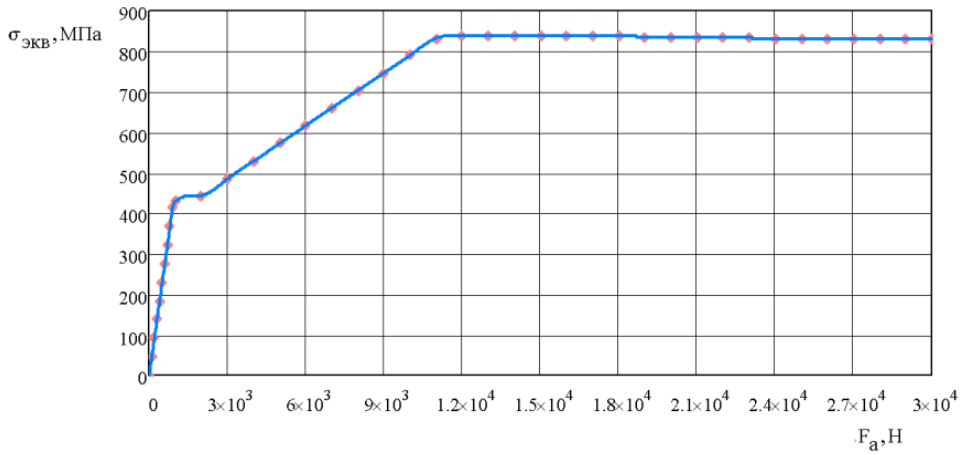


Рис. 3 – График зависимости эквивалентных напряжений ДЭ от величины осевой нагрузки (точками показаны значения, полученные в ходе компьютерного эксперимента в ПК ANSYS, кривой – восстановленная зависимость).

Выполненное компьютерное моделирование в ПК ANSYS позволяет определить напряжения в металле, действующие в процессе статического нагружения конструкции силой постоянной величины. В действительности же ДЭ в процессе эксплуатации подвергается случайной нагрузке. Для оценки прочностной надежности такой конструкции необходимо использовать вероятностные методы. В данной работе предложен метод оценки надежности детали сложной геометрической формы, подвергающейся эксплуатации в случайном режиме нагружения, заданном в виде конкретного закона распределения или реальной выборкой.

В качестве примера в данной работе рассматриваются легкий, средний нормальный, средний равновероятный и тяжелый режимы нагружения, интегральные функции распределения осевой нагрузки которых подчиняются соответственно гамма-, нормальному, среднему равновероятному и бета- распределениям [1]. Для генерирования выборок случайных величин осевых нагрузок (F_a) используются разработанные и реализованные в MathCad непараметрические датчики случайных чисел [2]. После генерации выборок осевых нагрузок $\{F_a\}$ в соответствии с зависимостью (1) вычисляются выборки действующих в ДЭ эквивалентных напряжений – $\{\sigma_{экв}\}$.

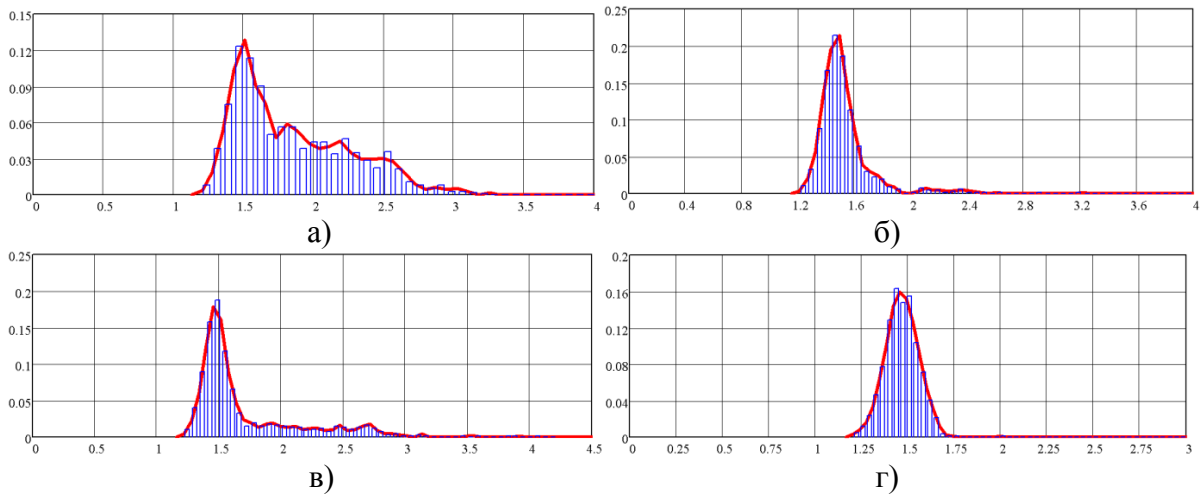
Поскольку фактические данные о распределении предела прочности материала отсутствуют, в данном примере полагается, что случайная величина σ_m распределена по нормальному закону со средним значением в 1220 МПа. Выборка предела текучести генерируется также с помощью непараметрического датчика [2,3].

Имея выборки эквивалентных напряжений, а также выборку предела текучести стали, определим коэффициенты запаса прочности демпфирующего элемента для каждого из режимов нагружения:

$$\{n\} = \frac{\{\sigma_m\}}{\{\sigma_{экв}\}}. \qquad (2)$$

По имеющейся выборкам необходимо восстановить функцию плотности распределения, для этого воспользуемся оценкой Парзена – Розенблатта, выбрав в качестве ядерной функции нормальное распределение. Оптимальное значение параметра размытости устанавливается в результате нахождения максимума функционала качества [2,3].

Результаты вычисления выборок коэффициентов запаса прочности и восстановлений по ним функции распределения представлены на рисунке 4 и в таблице. Из результатов расчета видно, что вероятность отказа ДЭ при переходе от легкого к тяжелому режиму нагружения увеличивается в три раза.



а) б) в) г)

Рис. 5 – Гистограммы распределения коэффициента распределения запаса прочности при разных режимах нагружения:
а) легкий, б) средний нормальный, в) средний равновероятный, г) тяжелый

Таблица – Характеристики выборок коэффициента запаса прочности демпфирующего элемента

Режим нагружения	Среднее выборки	Вероятность отказа, %
Легкий	1,853	23,3
Средний нормальный	1,525	55,3
Средний равновероят.	1,921	43,2
Тяжелый	1,468	64,3

Проведенные исследования позволяют оптимизировать конструкцию на этапе проектирования, а также определить надежность изделия при различных режимах работы без проведения натурных испытаний.

Список литературы

1. *Решетов, Д.Н.* Надежность машин: учеб. пособие для машиностр. спец. вузов / Д.Н.Решетов, А.С.Иванов, В.З.Фадеев; под. ред. Д.Н.Решетова. – М.: Высшая шк., 1988. - 238 с.

2. *Сызранцева К.В., Аришин В.А.,* Оценка вероятности безотказной работы гибкого вала винтового забойного двигателя методами непараметрической статистики. Вестник ЦКР Роснедра, Научно-технический журнал, №2, 2011: – Москва: 2011. – с.60-63

3. *Сызранцева К.В.* Расчет прочностной надежности деталей машин при случайном характере внешних нагрузок / К.В. Сызранцева. - Тюмень: ТюмГНГУ, 2011.-88с.

05.22.07

В.Р. Асадченко д.т.н., А.В. Ермилов

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Уральский государственный университет путей сообщения» (УрГУПС),
г. Екатеринбург, vasadchenko@et.usurt.ru, SanchezNT@rambler.ru

РАЗРАБОТКА МЕТОДА РАСЧЕТА ТОРМОЗНОГО ПУТИ ПРИ КОМПОЗИЦИОННЫХ ТОРМОЗНЫХ КОЛОДКАХ В ЗИМНИХ УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

В статье проанализированы существующие методы расчета тормозного пути подвижного состава. Указаны недостатки данных расчетов. Приведен анализ возможности использования композиционных тормозных колодок на подвижном составе. Предложен уточненный метод расчета тормозного пути при использовании композиционных тормозных колодок в зимних условиях эксплуатации.

Ключевые слова: *Расчет, тормозная колодка, обледенение, тепловой режим.*

Вследствие быстрого роста скоростей и нагрузок на транспорте предъявляются повышенные требования к надежной работе тормозов. Результатом этого было появление композиционных материалов, применяемых при изготовлении тормозных колодок, используемых на железнодорожном транспорте.

Одной из основных причин, препятствующих увеличению эффективности торможения и сокращению тормозных путей, является нагревание скользящего контакта, особенно при композиционных тормозных колодках. В процессе торможения энергия, выделяемая в области контакта колодки и колеса, переходит в тепло, нагревая тормозные колодки (ТК) и колеса. Учитывая то, что при увеличении скорости в 2 раза, количество тепла возрастает в 4 раза, важнейшее значение приобретает тепловая устойчивость трибосистемы колесо-колодка. Нарушение этой устойчивости приводит к утрате фрикционных качеств, увеличению тормозного пути и возникновению аварийных ситуаций на подвижном составе [1].

Величина, выделившегося тепла зависит от нескольких факторов:

- суммарной площади фактического контакта,
- начальной скорости и времени торможения,
- материала колодки.

Тормозные расчеты для обычных условий поездной работы складываются из определения [2]:

- длины тормозного пути в зависимости от заданной максимальной скорости движения, силы нажатия тормозных колодок и крутизны уклона;
- допускаемой скорости движения при заданном тормозном пути и известных тормозных средствах;
- необходимой силы нажатия колодок при заданной максимальной скорости, длине тормозного пути и крутизне уклона.

Эти задачи решаются отдельно для пассажирского и грузового поездов при известной зависимости коэффициентов трения тормозных колодок и удельного сопротивления подвижного состава от скорости движения.

Основой тормозных расчетов является преобразованное уравнение движения поезда [3], [4]

$$\frac{dv}{dt} = -\frac{\zeta}{1+\gamma}\left(b_T + w_0 + i_c\right), \quad (1)$$

где ζ – ускорение поезда под действием удельной ускоряющей (замедляющей) силы равной единице, кН·км/Н·ч^2;

γ – коэффициент, учитывающий инерцию вращающихся масс;

b_T – удельная тормозная сила, Н/кН;

w_0 – удельное основное сопротивление движению поезда, Н/кН;

i_c – величина спрямленного уклона, ‰.

Допустимая величина нажатия K_t^{κ}, кН, на композиционную тормозную колодку по тепловому режиму при остановочном торможении может быть найдена из выражения [1]

$$K_t^{\kappa} = \frac{(4\Phi(t) - 2{,}34v_0 m_v) + \sqrt{(4\Phi(t) - 2{,}34v_0 m_v)^2 + 9{,}36v_0 m_v \Phi(t)}}{0{,}023v_0 m_v}. \quad (2)$$

Наибольшая температура при остановочном торможении на поверхности колеса достигается в середине этого процесса [2]

$$\Delta\tau_{n\max} = \frac{q_T}{\alpha_0}\left(1 - e^{-0{,}9433\frac{\alpha_0}{\sqrt{\pi\lambda\gamma c}}\sqrt{t_e}}\right). \quad (3)$$

Тормозная сила и основное сопротивление являются функциями скорости и интегрирование уравнения (1) представляет определенные трудности. Поэтому обычно применяют приближенные методы решения уравнения движения поезда, разделяя процесс торможения на последовательные интервалы времени или скорости.

При применении композиционных ТК на железнодорожном подвижном составе необходимо учитывать то, что данные колодки имеют низкую теплопроводность. Поэтому в зимний период происходит обледенение ТК, особенно при большом скоплении снега на путях. Слой снега, доходящий до поверхности катания колеса, при композиционных колодках может приводить к образованию льда на их поверхности трения, так как колесо в процессе торможения разогревается, а колодка – нет. Брызги воды от горячего колеса после отпуска тормоза попадают на холодную поверхность трения колодки и замерзают. Опыт показывает, что наиболее неблагоприятные условия работы композиционных ТК создаются при температуре минус 5 – минус 15 °С [5]. При торможении необходимо некоторое время, чтобы убрать лед с колодки и просушить ее. Это, соответственно, сказывается на увеличении тормозного пути железнодорожного подвижного состава.

Несмотря на склонность к обледенению и увлажнению, композиционные колодки применяются на мотор-вагонном подвижном составе в некоторых депо в течение длительного времени [6]. Продолжительная эксплуатация композиционных тормозных колодок подтвердила возможность круглогодичного их использования на электроподвижном составе.

В настоящее время ведутся исследования и проводятся испытания новых композиционных ТК с увеличенной теплопроводностью, что будет способствовать их возрастающему применению на подвижном составе [7].

При торможении поверхность композиционной колодки и колеса нагревается. Исследованиями, проведенными Петровым С.Ю., установлены закономерности подвода тепловой энергии к поверхности колеса при торможении. Специфика тепловых потоков в колесе при торможении состоит в том, что участки на поверхности из-за вращения колеса нагреваются периодически [8].

В процессе торможения лед, накопившийся на колодке, начинает при воздействии тепла, образовавшегося при трении, плавиться. И одновременно кусочки льда с края колодки при соприкосновении с колесом откалываются, что уменьшает объем растапливаемого льда. Так как объем отколовшихся кусочков льда при торможении определить достаточно трудно, то при расчетах процесса обледенения ТК принимается допущение, что весь лед, образовавшийся на колодке, под действием сил трения растапливается.

Анализ применяемых в настоящее время методов расчета тормозных путей [3] показал, что в них не учитывается обледенение композиционных тормозных колодок, а также распределение тепловых потоков в контакте колесо – колодка.

С помощью математической модели выполняются тормозные расчеты для электропоезда ЭТ2М (моторный вагон). Расстояние между ТК и поверхностью катания колеса – 6 мм. Температура воздуха – минус 15 ºС. Начальная скорость торможения – 100 км/ч.

Процесс просушки обледенелой композиционной ТК условно можно разделить на 4 этапа:

- нагревание льда,
- плавление льда,
- нагревание воды,
- испарение воды.

Количество теплоты, требуемое для завершения всех процессов, будет получено за счет запаса кинетической энергии поступательного и вращательного движения колеса, за вычетом работы сил трения

$$Q_{mp} = \frac{m_к \cdot v^2}{2} + \frac{J \cdot \omega^2}{2} - A_{mp}, \qquad (4)$$

где $m_к$ – масса колеса, кг;

v – скорость начала торможения, м/с;

J – момент инерции, кг · м^2;

ω – угловая скорость колеса, с$^{-1}$;

$A_{тр}$ – работа сил трения, Дж.

Далее расчет тормозного пути ведется по интервалам времени, но с учетом того, что тормозной коэффициент в процессе просушки ТК достиг максимального значения.

Допустимая величина нажатия на композиционную тормозную колодку по тепловому режиму (2) оказалась больше реального нажатия на колодку. Максимальная температура при торможении (3) равна 97,412 ºС.

По сравнению с рассчитанным тормозным путем при неувлажненной ТК, составившим 480,97 м, при плохих погодных условиях (снег, метель) происходит увеличение тормозного пути, который составит 526,01 м. Это может понизить безопасность движения электропоездов в зимний период.

На рисунке 1 представлен график зависимости длины тормозного пути от начальной скорости торможения.

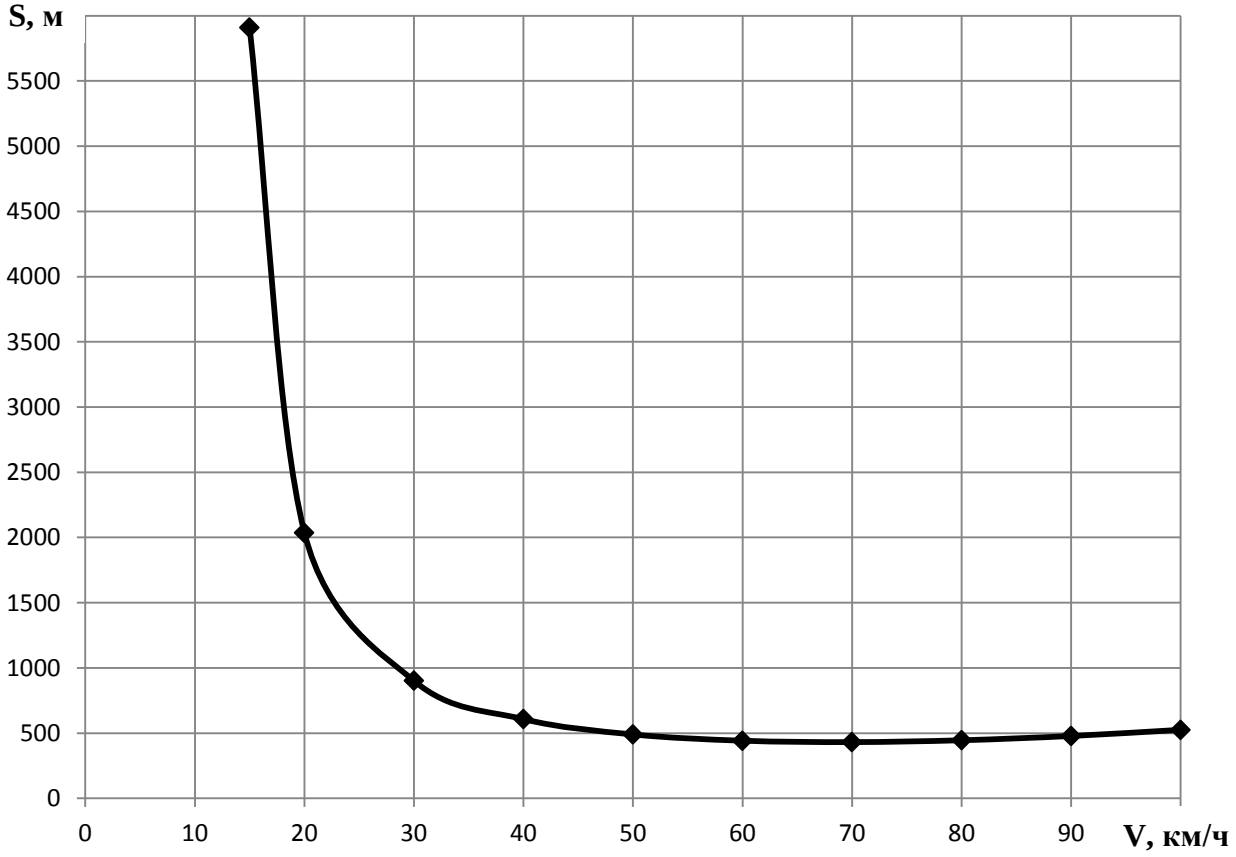


Рис. 1 – Зависимость длины тормозного пути от начальной скорости торможения

Как видно из рисунка 1, с уменьшением начальной скорости торможения сначала происходит уменьшение общего тормозного пути, а при скорости ниже 50 км/ч его увеличение. Согласно [9] скорость скольжения имеет значительно большее влияние на температурные характеристики, чем давление. Поэтому, с уменьшением начальной скорости торможения, уменьшается количество выделяемой теплоты в процессе трения и поэтому необходимое для просушки композиционной ТК время увеличивается. Соответственно, увеличивается и путь, пройденный поездом в процессе просушки обледенелой ТК. До скорости 50 км/ч этот путь возрастает меньшими темпами, чем происходит уменьшение тормозного пути при просушенной колодке. При скорости менее 50 км/ч происходит увеличение общего тормозного пути, пройденного до полной остановки поезда, так как значительно увеличивается время, затрачиваемое на просушку ТК. А при скорости менее 10 км/ч только выделяемого тепла не хватает для полной просушки композиционной ТК.

На рисунке 2 представлен график зависимости коэффициента трения пары колесо – колодка от времени торможения с учетом процесса просушки композиционной ТК.

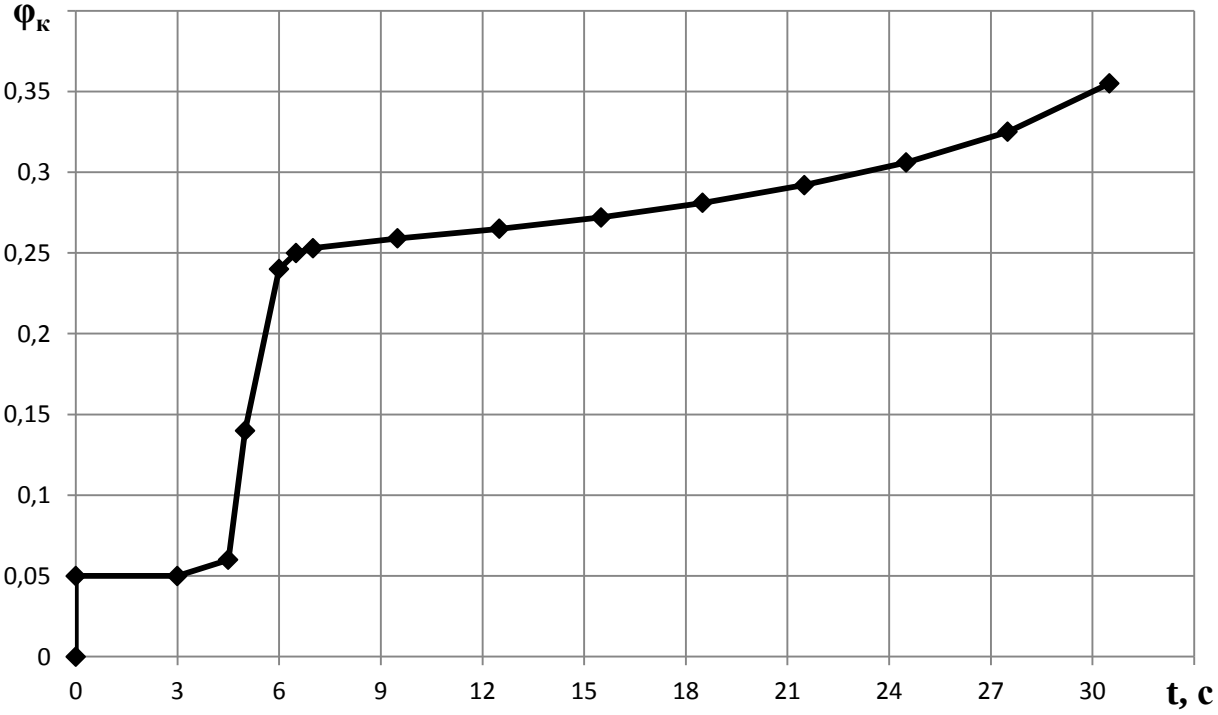


Рис. 2 – Зависимость коэффициента трения от времени

Как видно из рисунка 2, коэффициент трения пары колесо – лед на протяжении времени, необходимого на просушку композиционной ТК, какое-то время остаётся постоянным, затем по мере таяния льда и просушки колодки он достаточно резко возрастает. После полной просушки колодки коэффициент трения имеет значения, соответствующие торможению сухой композиционной ТК.

Так как процессы увлажнения и обледенения увеличивают время торможения и, соответственно, тормозной путь, который превышает установленные нормы, то они оказывают влияние на безопасность перевозок по железной дороге.

На данный момент не существует методики расчета тормозного пути с учетом процессов, происходящих в зимнее время с композиционной ТК. Проведенный анализ методов расчета тормозных путей обеспечивает актуальность теоретических исследований и разработки методики по расчету тормозного пути с учетом процессов обледенения и просушки композиционной тормозной колодки.

Список литературы

1. *Асадченко В.Р.* Расчет пневматических тормозов железнодорожного подвижного состава. – М.: Маршрут, 2004. – 120 с.
2. *Иноземцев В.Г., Казаринов В.М., Ясенцев В.Ф.* Теоретические основы проектирования и эксплуатации тормозов. – М.: Транспорт, 1968. – 400 с.
3. *Асадченко В.Р.* Автоматические тормоза подвижного состава: Учебное пособие для вузов железнодорожного транспорта. - М.: Маршрут, 2006. – 392 с.
4. *Иноземцев В.Г., Казаринов В.М., Ясенцев В.Ф.* Автоматические тормоза. Учебник для вузов. – М.: Транспорт, 1981.
5. *Иноземцев В.Г.* Тормоза железнодорожного подвижного состава. Вопросы и ответы. – М.: Транспорт, 1987. – 208 с.
6. *Каменков Ю.В.* Применение композиционных колодок на электропоездах // Локомотив. – 2000. – №8. – С. 67-68
7. *Вуколов Л.А., Жаров В.А.* Сравнительные характеристики тормозных колодок различных поставщиков // Вестник ВНИИЖТ. – 2005. – №2.
8. *Петров С.Ю.* Закономерности работы трибосистемы колодка-колесо-рельс и пути повышения ее долговечности: Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук: 11.06.02 / ВНИИЖТ. – М., 2002. – 48 с.
9. *Крагельский И.В., Виноградова И.Э.* Коэффициенты трения. Справочное пособие. – М.: Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы, 1962. – 222 с.

05.26.06

[1]О.И. Бахирева, [2]А.В. Басов, [1]Т.В. Кондратьева,
[2]С.А. Иларионов, [2]В.В. Горелов, [1]В.Н. Басов

[1]Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
химико-технологический факультет, кафедра химии и биотехнологии,
Пермь, basov81@mail.ru
[2]Общество с ограниченной ответственностью
«Уральский технологический институт с опытным производством»,
Пермь, basov81@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ ПОЧВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИММОБИЛИЗОВАННЫХ НА ГЛАУКОНИТЕ МИКРООРГАНИЗМОВ

Рассмотрены методы обезвреживания почвы, загрязненной нефтепродуктами, включающие использование сорбционных процессов и применение активных микробных штаммов. Описана суть проведенной научной работы по совмещению процессов сорбции и биоразложения углеводородов, загрязняющих почву. Показано, что для достижения наибольшей эффективности очистки почвы биопрепараты необходимо наносить на предварительно прокаленный глауконит. Также в статье приведены результаты обезвреживания нефтезагрязненной почвы с использованием комбинированных на глауконите микроорганизмов.

Ключевые слова: *обезвреживание нефтезагрязненных почв, глауконит, сорбция углеводородов, биоразложение углеводородов.*

В настоящее время уделяется большое внимание реабилитации почв, загрязненных нефтепродуктами. Загрязнение почвы носит техногенный характер.

Нефтепродукты представляют собой смесь высокомолекулярных углеводородов, многие из которых являются высокотоксичными канцерогенами и вызывают заболевания у живых организмов. Загрязнение почвы нефтепродуктами приводит к изменению всех звеньев естественных биоценозов, подавлению фотосинтезирующей активности растений.

Методы обезвреживания почвы включают как использование сорбционных процессов, так и применение активных микробных штаммов, проявляющих способность трансформировать углеводороды нефти [1, 2, 3]. Широко известны биопрепараты «Ленойл», «Деворойл», «Дестройл» [4, 5].

Первый из них представляет собой консорциум штаммов микроорганизмов Bacillus brevis и Arthrobacter species. При обеспечении кислородного режима, а также питания биопрепарат способен за летний период обезвредить нефтяные углеводороды концентрацией < 30 %. Наиболее эффективным способом применения биопрепарата является его внесение в почву в виде суспензии с биологическими и минеральными добавками.

Биопрепарат «Деверойл» представляет собой тщательно подобранное сообщество углеводородокисляющих микроорганизмов, способных эффективно работать в широких диапазонных кислотности среды (pH 5,5 – 9,5), температур (5 – 40°C) и солености среды (до 150 г/л).

Действие биопрепарата «Дестройл» основано на высокой окислительной активности микробной культуры в отношении углеводородов нефти и нефтепродуктов. Отмершие клетки культуры-продуцента образуют нетоксичную биомассу, которая в трофичесчкой цепи легко утилизируется аборигенной микрофлорой, создавая основу для формирования гумуса.

К природным адсорбентам принято относить минерально-породные образования, обладающие уникальными адсорбционными, ионообменными и каталитическими

свойствами. Природные адсорбенты обладают свойствами избирательно сорбировать загрязнители, что позволяет дифференцированно подходить к их применению.

Особый интерес имеет использование глауконита, представляющего собой диоктаэдрические слюды однослойной полиморфной модификации со сложным составом тетраэдров и октаэдров, в который входят три главных элемента – алюминий, железо и магний.

Глауконит обладает такими уникальными свойствами, как высокая дисперсность и физико-химическая активность. Важным является проявление когезионно-адгезионных свойств и способность к регенерации [6].

Адсорбционная активность глауконита, прежде всего, связана с ионообменными свойствами. Ионообмен проходит как на уровне межслоевого катионного, так и гидроксильного обмена.

Представляло интерес совместить процессы сорбции и биоразложения углеводородов, загрязняющих почву. Для этого проводили иммобилизацию клеток указанных выше биопрепаратов на глауконите физическим методом. В культуральные жидкости помещали навески биопрепаратов. Суспензии в течение 24 часов перемешивали на качалке, а затем ставили на сутки в холодильник с целью лучшего закрепления микрофлоры. Глауконит отмывали от не включившихся клеток дистиллированной водой и сушили на воздухе.

Эффективность использования глауконита с иммобилизованными биопрепаратами оценивали на примере обезвреживания почв, загрязненных дизельным топливом. Для этого проводили экстракцию нефтепродуктов из почвы и измеряли оптическую плотность полученных растворов, по которой находили концентрацию нефтепродукта [7].

Выполненный рентгеновский анализ глауконита показал, что его структура соответствует составу $(0{,}57KAlSi_3O_8)(0{,}43BaAl_2Si_2O_8)$, что согласовывается с литературными данными.

Оценили зависимость обезвреживания нефтепродуктов от степени термической обработки глауконита (250°С; 350°С; 450°С). На глауконите, подвергнутом термической обработке, проводили иммобилизацию биопрепаратов и оценивали эффект обезвреживания. Наблюдали значительное снижение остаточной концентрации нефтепродуктов в сравнении с непрокаленным глауконитом, что обусловлено высвобождением пор в структуре при прокалке и, следовательно, повышением концентрации нефтеокисляющих микроорганизмов.

Результаты эксперимента приведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты обезвреживания нефтезагрязненнной почвы

Исходная концентрация нефтепродуктов в пробе, мг/кг	Остаточная концентрация нефтепродуктов, мг/кг	Допустимый уровень концентрации нефтепродуктов, мг/кг
Глауконит		
30000	1160	1000
Глауконит с иммобилизованным препаратом «Ленойл»		
15000 30000 50000	510 846 954	1000
Глауконит с иммобилизованным препаратом «Деворойл»		
15000 30000 50000	711 844 1004	1000
Глауконит с иммобилизованным препаратом «Дестройл»		
15000 30000	495 763	1000

Таким образом, глауконит с иммобилизованными клетками нефтетрансформирующих биопрепаратов может быть эффективно использован для обезвреживания нефтезагрязненных почв.

Список литературы

1. *Зонова Л.Д., Сотиров М.Ф., Басов В.Н., Горелов В.В.* Изготовление полупромышленных партий нефтеулавливающих сорбентов. Некоторые научные и практические результаты / Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе, № 6, 2011. С. 44-47.
2. *Сотиров М.Ф., Басов А.В., Горелов В.В., Басов В.Н.* Способ модификации нефтеулавливающих сорбентов на основе натуральных органических материалов /Вестник ПГТУ, химическая технология и биотехнология, № 12, 2011. С. 198-201.
3. Способ детоксикации шламовых осадков нефтехимических производств /Иларионов С.А., Басов В.Н., Хлопов С.В., Горелов В.В./ Патент РФ на изобретение № 2401294, МПК С09К 17/00. Опубл. 10.10.2010, бюл. № 28.
4. *Оборин А.А., Иларионов С.А., Назаров А.В.* Нефтезагрязненные биогеоценозы. УрО РАН, ПГУ. – Пермь, 2008, 511 с.
5. *Киреева Н.А.* Микробиологическая рекультивация нефтезагрязненных почв. М. ВНИИОЭНГ, 2001, 40 с.
6. *Левченко М.Л., Губайдуллина А.М.* Глауконитовые смеси для экологической защиты и восстановления природных свойств грунтов и водной среды. Бурение и нефть, 2009, № 4. с. 56-57.
7. Унифицированные методы анализа вод. Под ред. Ю.Ю. Лурье, М., Химия, 1973, 376 с.

05.13.06

В.Ф. Беккер

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

ОЦЕНКА ЗАПАЗДЫВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В ДИНАМИКЕ НЕСТАЦИОНАРНОЙ СЕПАРАЦИИ ГУБЧАТОГО ТИТАНА

Описана методика оценки изменяющегося запаздывания в системе регулирования теплового режима сепарации губчатого титана. Предложено корректировать зону нечувствительности многоканального двухпозиционного регулятора по величине оперативно оцениваемого запаздывания.

Ключевые слова: *нестационарность, сепарация, губчатый титан, тепловой режим, двухпозиционное регулирование.*

Основными стадиями в производстве губчатого титана являются магнийтермическое восстановление титана из тетрахлорида и последующая вакуумная сепарация полученного в процессе восстановления блока губчатого титана [1]. После проведения реакции восстановления в реакторе остается спекшийся, монолитный блок реакционной массы, состоящий из титановой губки, пропитанной магнием и хлоридом магния. Очистка титановой губки от этих примесей является целью вакуумной сепарации. К основным элементам аппарата вакуумной сепарации относятся реторта с реакционной массой, печь, конденсатор и теплоизоляционный экран.

При расчетах систем, в которых управление ведется только путем изменения мощности электрических нагревателей в электрических печах, математическое описание объекта управления может быть сведено к дифференциальному уравнению теплового баланса в виде

$$m(t)\cdot c_{т}\frac{d\theta_{ср}}{dt}+\lambda l\left(\theta_{ср}-\theta_{вн}\right)=Q(t), \qquad (1)$$

где $m(t)$ – сумма не изменяющейся массы загруженной в печь реторты (m_1, кг) и уменьшающейся по мере удаления примесей массы находящегося внутри реторты блока губчатого титана $m_2(t)$, кг,

t – время процесса сепарации, отсчитываемое от момента прорыва магниевой мембраны, ч;

$c_{т}$ – теплоемкость блока губчатого титана, Дж/(кг·К);

λ – теплопроводность системы «блок губчатого титана – внешняя поверхность реторты», Вт/(м·К);

l – длина теплового канала, м;

$\theta_{ср}$ – средняя температура блока губчатого титана, К;

$\theta_{вн}$ – температура внешней поверхности реторты, К;

$Q(t)$ – количество тепла, выделяемого нагревателями в печи за единицу времени (регулирующее воздействие), Вт.

Изменение количества примесей в блоке $m_2(t)$ было аппроксимировано зависимостью следующего вида

$$m_2(t)=m_2(0)\cdot e^{-\frac{t}{T_{п}}} \qquad (2)$$

где $T_{п}$ – постоянная времени реторты с блоком губчатого титана, ч.

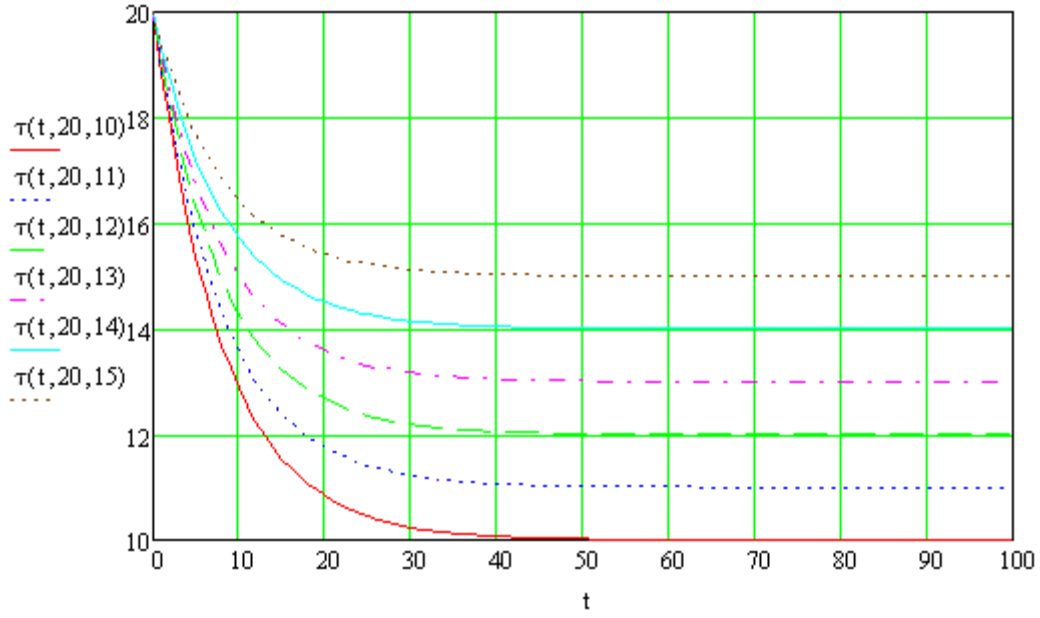
Зависимость (2) отражает скорость отгонки примесей, пропорциональную количеству этих примесей в сепарируемом блоке. При длительности t = 100 ч, $m_2(0)=1000$ кг и $T_п$ = 8 ч вычисление по этой формуле дает остаток по магнию – 3,72 г, а по хлориду магния – 2,98 г. Такой результат можно считать достоверным, т.к. с точностью до первой значащей цифры он совпадает с производственными данными.

Распределенный характер системы «блок губчатого титана – внешняя поверхность реторты» приближенно учитывается введением некоторого запаздывания между средней температурой блока губчатого титана $\theta_{ср}$ и температурой $\theta_{вн}$, контролируемой в некоторой точке на внешней поверхности реторты, т.е. $\theta(t)=\theta_{ср}[t-\tau(t)]$, где $\tau(t)$ – некоторое эквивалентное время запаздывания как функция времени процесса сепарации.

Для численной оценки запаздывания $\tau(t)$ печь сепарации представлена в виде последовательного соединения двух описываемых уравнением (1) тепловых объектов – реторты и непосредственно самого блока губчатого титана, находящегося внутри реторты. Тогда постоянные времени реторты T_1 и блока T_2 можно оценить, ориентируясь на постоянную времени загруженной реторты T_i, которая распределяется между ее составляющими: ретортой и блоком губчатого титана пропорционально их тепловой емкости. В среде MathCAD из условия эквивалентности отклика определяли время запаздывания $\tau(t)$ для аппроксимации печи первым порядком с запаздыванием. Были выполнены расчеты времени запаздывания реторты в начале τ_0 и в конце $\tau_к$ процесса сепарации. Для функции $\tau(t)$ с учетом начальных условий (массы блока и количества примесей в нем) была подобрана зависимость вида

$$\tau(t,\tau_0,\tau_к)=(\tau_0-\tau_к)\cdot e^{-\frac{t}{T_п}}+\tau_к \qquad (3)$$

Для τ_0=20 с и ряда значений $\tau_к$=10, 11, 12, 13, 14 и 15 с построено и приведено на рисунке семейство зависимостей $\tau(t,\tau_0,\tau_к)$.



Зависимости времени запаздывания печи $\tau(t,\tau_0,\tau_к)$ (в секундах) от времени процесса сепарации (в часах)

Для корректировки зоны нечувствительности $\Delta\theta_i(t)$ – настроечного параметра применяемого на производстве многоканального двухпозиционного регулятора в контуре

регулирования температуры *i*-ой зоны нагрева нестационарной печи сепарации [2] достаточно периодически вычислять $\Delta\theta_i(t)$. Это можно выполнить, как показано в [3], по схеме $t \Rightarrow \tau(t) \Rightarrow \Delta\theta_i(t)$, зная зависимость (3) для изменяющегося во времени чистого запаздывания $\tau(t)$.

Выводы. Предложена новая методика оценки изменяющегося запаздывания в замкнутом контуре регулирования температуры процесса по количеству остаточных примесей в сепарируемом блоке губчатого титана. Показана возможность корректировки основного настроечного параметра многоканального двухпозиционного регулятора (зоны нечувствительности) по величине оперативно оцениваемого таким способом запаздывания.

Список литературы

1. *Беккер В.Ф.* Системный подход к управлению непрерывно-дискретным производством губчатого титана // Известия Южного федерального ун-та: Технические науки. Тематический выпуск: «Компьютерные и информационные технологии в науке, инженерии и управлении». – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ. №2(91). – 2009. – С. 154-158.
2. *Беккер В.Ф.* Ресурс изменяемого гистерезиса в двухпозиционном регулировании сепарации титановой губки. // Новый университет: научный журнал. Серия «Технические науки», Йошкар-Ола. – №1, 2012. – С. 7-9.
3. *Затонский А.В.* Синтез систем управления сложными техническими системами // Горный информационно-аналитический бюллетень.– 2008. – № 2. – С. 82-86.

05.13.06

В.Ф. Беккер, М.Г. Гребенева

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

ВВЕДЕНИЕ МНОГОАГЕНТНОЙ КОМПОНЕНТЫ В УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ХИМИЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ

В рамках многоагентной системы выполнена децентрализация управления качеством продукции крупного химического предприятия. Разработана архитектура системы. Показана организация связей между агентами. Определен круг коллекторных и управляющих функций агента. Сформулированы условия выбора оптимальных сценариев. Предложен алгоритм выработки решений, обеспечивающих повышение эффективности управления качеством продукции.

Ключевые слова: *многоагентная система, функции агента, управление качеством, взаимодействие, распределенное решение, выбор сценариев.*

Основные управленческие функции выполняет на действующем производстве бюро управления качеством продукции. Оно координирует работу подразделений в структуре всего предприятия, осуществляет оценку результатов управления качеством [1]. Применяемые при этом формальные методы оценки эффективности управления не учитывают показателей динамики системы менеджмента качества (СМК). Они подходят для отчетности, но не для лица, принимающего решения (ЛПР).

Существующая система показателей для отдельного цеха [2, 3] включает:

- количество специалистов, участвующих в управлении качеством;
- количество самостоятельных направлений СМК в цехе;
- количество технологических параметров, характеризующих эффект управления качеством продукции по каждому направлению СМК;
- количество коллективных форм СМК в структуре цеха;
- количество организационных мероприятий с участием специалистов цеха, специалистов СМК и т.д.

Фактически, оценка СМК-рейтинга цеха происходит по следующему аддитивному критерию:

$$R = \sum_{i=1}^{I} \alpha_i \cdot N_i , \qquad (1)$$

где R – оценка СМК-рейтинга цеха;

N_i – количественная оценка *i*-го показателя СМК из вышеприведенного списка в баллах;

α_i – весовой коэффициент *i*-го показателя с точки зрения ЛПР, оценивающего смотр-конкурс;

I – количество учитываемых показателей.

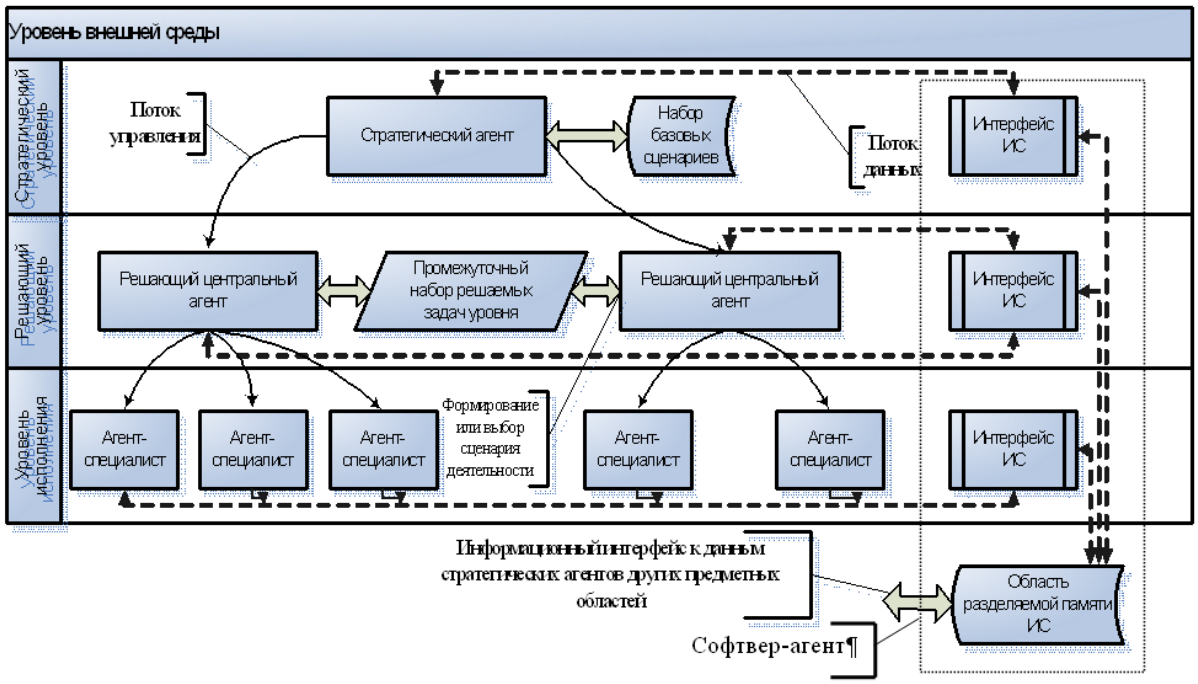
Линейная зависимость (1) не позволяет дать объективную оценку развитию СМК в цехе, а также учесть внешние факторы, влияющие на развитие СМК. Другим способом моделирования коллективной самооценки, в частности, оценки уровня развития СМК, является многоагентное моделирование [4]. Многоагентные системы (МАС) в соответствии с теорией активных систем, состоят из следующих основных компонентов:

- множество организационных единиц, в котором выделяются подмножество агентов, манипулирующих подмножеством объектов;

- множество задач;
- среда (пространство, в котором существуют агенты и объекты);
- множество отношений между агентами;
- множество действий агентов (например, операций с объектами).

МАС относятся к самоорганизующимся системам, т.е. оптимизация процессов управления достигается изменением структуры, топологии системы управления, качественным изменением алгоритмов управления и т.д.

В сфере коллективной работы применяется многоагентный метод *Multi-Agent Scenario-Based Method* (*MASB*), основанный на сценариях работы агентов. Одним из вариантов модели является имитационная модель, выбор которой обусловлен стохастическими свойствами элементов и процессов модели. Имитационное моделирование позволяет определять оптимальный способ регулирования в детерминированных структурах путем проведения вычислительных экспериментов. Основой для имитационной модели может служить многоагентное представление о СМК. Это позволит построить общую модель СМК и провести над ней ряд экспериментов с целью анализа влияния отдельных показателей на развитие СМК. Структура многоагентной СМК приведена на рисунке.



Архитектура многоагентной системы менеджмента качества

В МАС управления качеством продукции выделены следующие агенты. На верхнем уровне иерархии находится стратегический агент, который определяет направление развития СМК в отдельности на каждом подразделении цеха. Решающие центральные агенты управляют исполнением задач, поставленных стратегическим агентом. На нижнем уровне находятся агенты-специалисты, которые непосредственно принимают участие в исполнении. Информационное обеспечение осуществляет софтверный агент информационной системы, которому делегируется ряд полномочий от натуральных агентов. В отличие от натуральных агентов, софтверный агент не обладает целенаправленной активностью. Это облегчает его моделирование.

Цикл работы начинается диалогом со стратегическим агентом, который на основании глобальной цели генерирует список задач из набора базовых сценариев. Этот список направляется центральным решающим агентам, которые генерируют предложения решений поставленных задач для исполнения агентам-специалистам. После активизации агентов-специалистов проверяется совместимость принятых решений. Если действия агентов не

совместимы, то управление передается стратегическому агенту, который пытается выбрать другой базовый сценарий из набора.

Между агентами системы осуществляется прямая связь через обмен сообщениями и косвенная через области разделяемой памяти информационной системы. Все функции агента можно разделить на два вида: коллекторные и управляющие. К коллекторным функциям агента информационной системы относятся: сохранение новых сценариев поведения агентов в базе данных (БД), отслеживание дублирующихся сценариев. К управляющим функциям относятся: исключение из БД сценариев, не использовавшихся длительное время, имитационное моделирование результатов применения каждого сценария, выполнение информационных выборок для предоставления информации ЛПР.

Многоагентная система, служит основой для имитационной модели, так как вследствие декомпозиции и ограничения возможных изменений параметров конечным множеством сценариев на каждом уровне упрощается формализация логики поведения агента.

Тогда задача сводится не к вычислению значений функции $N_i(t)$, необходимых для вычисления оценки СМК-рейтинга R по формуле (1), а к выбору сценария

$$C^*_{k,l}: \begin{cases} R^*_{i+1,l}(t_{i+1}) = R_{i,l}(t_i) + \Delta R^*_{i,l}(C^*_{k,l}, t_i) \\ \Delta R^*_{i,l}(C^*_{k,l}, t_i) \geq \Delta R_{i,l}(C_{j,l}, t_i)\Big|_{j \neq k} \ \forall k = \overline{1,K} \end{cases} \quad (2)$$

где k – идентификатор оптимального сценария из набора, $k = \overline{1,K}$;

K – емкость набора сценариев;

$[t_i, t_{i+1}]$ – интервал времени воздействия на систему l-го агента по сценарию $C_{k,l}$;

$\Delta R_{i,l}$ – изменение критерия l-м агентом применением сценария $C_{k,l}$.

При этом очевидно, что в целом для системы $\Delta R_i \leq \sum_{l=1}^{L} \Delta R_{i,l}$, так как взаимное влияние действий агентов на множестве Парето-оптимальных решений приводит к уменьшению общего эффекта. Обмен информации между агентами способствует выбору тех сценариев действий агентов, сочетание которых позволят получить наибольшее значение итогового критерия [5].

Таким образом, из всего вышесказанного можно сформировать алгоритм выработки решений, направленных на повышение эффективности управления СМК:

1. Построение функциональной модели (*IDEF0, DFD, ARIS*, др.).
2. Построение (корректировка) МАС модели на основе функциональной модели.
3. Определение начального набора сценариев и времен их осуществления, идентификация внешних воздействий.
4. Имитационное моделирование динамики системы на основе МАС модели с целью выбора оптимальных сочетаний сценариев, которые применяются на ограниченном промежутке времени при разных внешних воздействиях.
5. Генерирование новых сценариев и включение их в наборы; принятие решений об исключении не оправдавших себя сценариев из наборов.
6. Зацикливание пунктов 4-5 до конца времени моделирования.

Для реализации алгоритма необходимо формализовать критерий оптимальности и построить математическую модель СМК. Кроме того, необходимо построить модели каждого элемента системы.

Список литературы

1. *Беккер В.Ф.* Управление технологическими процессами как подсистема управления качеством продукции. «Проблемы теории и практики управления». – №10, 2010. – С. 78-84.
2. *Беккер В.Ф., Гребенева М.Г.* Управление качеством продукции обжига известняка построением диаграммы Парето. Научно-технический вестник Поволжья – №4, 2011. – С. 97-101.
3. *Беккер В.Ф., Гребенева М.Г.* Управление качеством продукции обжига известняка с применением карт Шухарта. Научно-технический вестник Поволжья – №5, 2011. – С. 68-73.
4. *Иванова Е.В., Затонский А.В.* Методы формализации самооценки на примере научно-исследовательской работы студентов // Информатизация образования и науки. – М.: Изд-во ФГУ ГНИИ ИТТ «Информика», 2011. № 3 (11)/2011. – С. 110-116.
5. *Бильфельд Н.В.* Программа исследования динамики систем управления // Программные продукты и системы. – 2010. – № 3. – С. 118-120.

05.13.19

А.А. Бешта, Ю.В. Новикова

Волгоградский государственный университет, физико-технический институт,
кафедра информационной безопасности,
Волгоград, infsec@volsu.ru

СПОСОБ ЧИСЛЕННОЙ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ[1]

В статье рассмотрена задача численной оценки состояния автоматизированной информационной системы. Описаны этапы типовой атаки и граф состояния системы. Описан предложенный авторами способ количественной оценки состояния системы, результаты его применения и варианты возможного использования.

Ключевые слова: *состояние информационной системы, этапы атаки, уровень защищенности.*

При построении системы контроля над внутренним злоумышленником [1, 2] важной задачей является оценка состояния системы по отношению к атаке, которая может произойти. При решении этой задачи обычно используется качественная оценка состояния системы [3, 4], но часто бывает необходимо получение количественного значения оценки.

Чтобы представить качественные значения состояния системы в числовом виде, необходимо событиям в системе поставить в соответствие некоторое числовое значение. Самым удобным способом такой оценки будет контроль над этапами атаки и состояниями самой информационной системы. В этом случае атака представляет собой последовательное появление событий в системе, приводящих к выполнению деструктивного воздействия [2]. Поэтому необходимо контролировать признаки состояний системы на разных этапах атаки, а этими признаками являются действия потенциального внутреннего злоумышленника и события в системе.

Таким образом, можно определить четыре состояния, в котором может находиться информационная система в заданный момент времени:

1. Отсутствие атаки (безопасное состояние системы).
2. Предварительный анализ.
3. Атакующее воздействие.
4. Завершение атаки.
   - 4.1.1. Выполнение деструктивных действий.
   - 4.1.2. Закрепление.
   - 4.1.3. Сокрытие следов.

Граф состояний системы и переходов между состояниями представлен на рисунке 1.

[1] Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и Волгоградской области (№ проекта 13-07-97040)

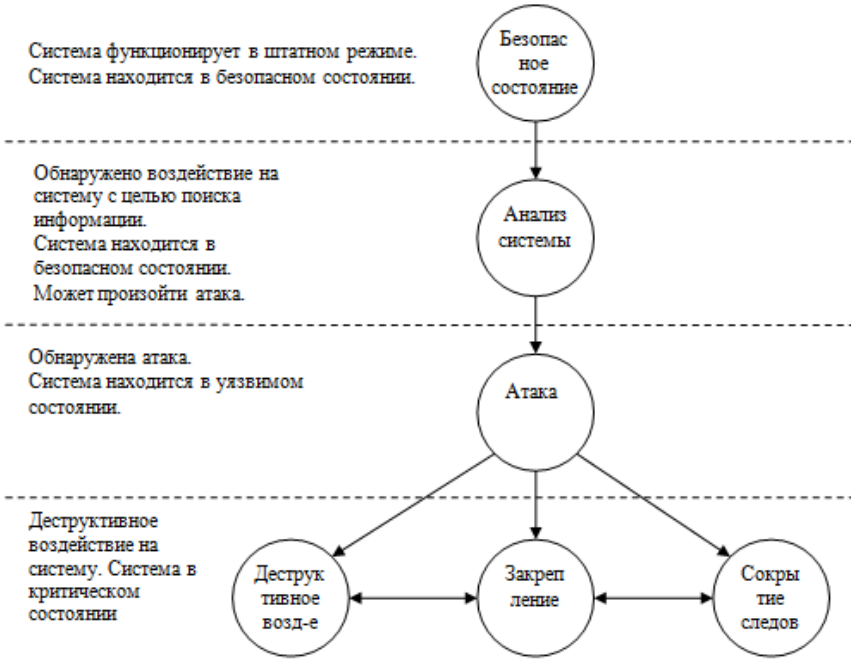


Рис.1 — Граф состояний системы в момент атаки

Каждый уровень атаки на систему содержит множество действий, результат выполнения которых позволяет злоумышленнику перейти к действиям следующего этапа.

Все события, происходящие в системе, регистрируются в журналах событий. Записи в журналах классифицируются по типам и используются в качестве признаков событий при расчете количественного значения оценки состояния системы.

Так как функция появления событий в системе дискретная, то события рассматриваются на некотором интервале. Пусть события в системе собираются из источников с некоторым интервалом Δt, и имеется некоторое значение времени T, через которое собранная статистика считается устаревшей. Тогда имеется Q интервалов наблюдений $Q = T / \Delta t$.

Для времени наблюдения T можно построить ряд упорядоченных данных E_q, описывающий количество обнаруженных событий E_i на каждом из интервалов i:

$$E_q(\Delta t) = \sum_{i=1..Q} E_i . \quad (1)$$

Согласно графу состояния атаки (рисунок 1) система в любой момент времени находится в одном из четырех состояний m, которое зависит от появления различных типов событий. Тогда выражение 1 примет вид:

$$E_q(\Delta t) = \sum_{i=1..Q, m=1..M} E_i^m , \quad (2)$$

где E_i^m — количество обнаруженных событий типа m на интервале i, $M = 4$ — количество возможных состояний.

Кроме того, необходимо соотнести значимость событий каждого состояния в результирующей оценке, а также следует учитывать, что большое количество событий может привести к переходу на следующее состояние, которому это событие не свойственно. Тогда можно сказать, что некоторое количество событий типа m дают одно событие следующего типа $m+1$. Тогда численное значение, соответствующее состоянию системы можно определить следующим образом:

$$E_q(\Delta t) = \sum_{i=1..Q, m=1..M} n_m k_m E_i^m , \quad (3)$$

где n_m — коэффициент связи событий смежных состояний;

k_m — коэффициент значимости.

Коэффициенты связи событий определяются как $E^1 / n_1 = E^2$, $E^2 / n_2 = E^3$, $E^3 / n_3 = E^4$, то есть n_m — количество событий уровня m, которые дают одно событие уровня m +1.

Тогда из выражения 3 можно получить:

$$E_q(\Delta t) = \sum_{i=1..Q} k_1 E_i^1 + k_2\left(\frac{E_i^1}{n_1} + E_i^2\right) + k_3\left(\frac{E_i^2}{n_2} + E_i^3\right) + k_4\left(\frac{E_i^3}{n_3} + E_i^4\right) =$$
$$= \sum_{i=1..Q}\left(k_1 + \frac{k_2}{n_1}\right)E_i^1 + \left(k_2 + \frac{k_3}{n_2}\right)E_i^2 + \left(k_3 + \frac{k_4}{n_3}\right)E_i^3 + k_4 E_i^4. \quad (4)$$

Коэффициент k_m может быть определен как доля, вносимая в общее значение состояния системы событием каждого уровня:

$$k_m = \frac{1}{\prod_{j=m}^{M} n_j}, \quad (5)$$

или для каждого коэффициента: $k_1 = \frac{1}{n_1 n_2 n_3 n_4}$, $k_2 = \frac{1}{n_2 n_3 n_4}$, $k_3 = \frac{1}{n_3 n_4}$, $k_4 = \frac{1}{n_4}$.

С учетом полученных коэффициентов выражение 4 примет вид:

$$E_q(\Delta t) = \sum_{i=1..Q}\left(\frac{2}{n_1 n_2 n_3 n_4}\right)E_i^1 + \left(\frac{2}{n_2 n_3 n_4}\right)E_i^2 + \left(\frac{2}{n_3 n_4}\right)E_i^3 + \frac{1}{n_4}E_i^4. \quad (6)$$

Или с учетом $n_4 = 1$ его можно представить в виде:

$$E_q(\Delta t) = \sum_{i=1..Q, m=1..M} 2k_m E_i^m - E_i^M. \quad (7)$$

Результаты оценки состояния системы за один день наблюдений приведены на рисунке 2. Расчет проводился по данным последних 40 интервалов наблюдений. Более старшие наблюдения в расчете не использовались.

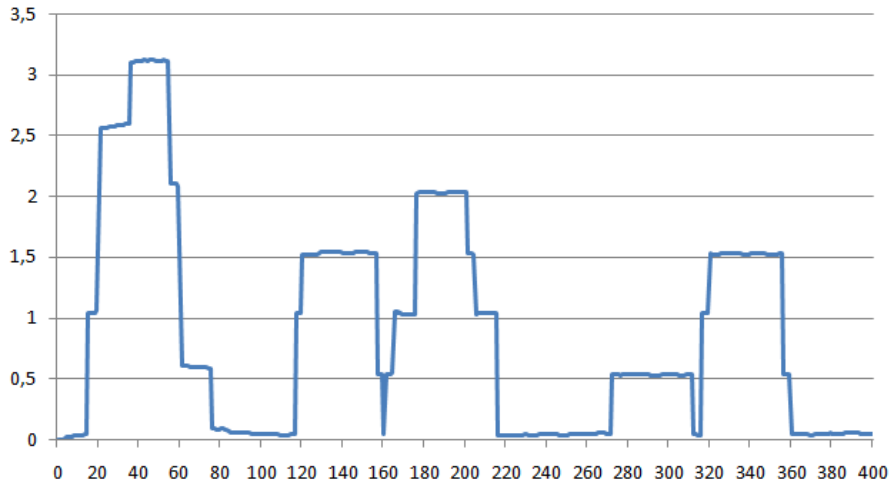


Рис.2 — Результат оценки состояния системы

Полученные результаты могут быть использованы при построении системы нечеткого вывода, в которой может быть определена лингвистическая переменная x = ≪Состояние системы≫ с множеством термов $T(x)$ ={≪Безопасное≫, ≪Допустимое≫, ≪Уязвимое≫, ≪Критическое≫}, соответствующих состояниям системы на рисунке 1, и определением нечетких переменных и функций принадлежности. Однако для определения уровня истинности предпосылки продукционного правила необходимо количественное значение входной переменной, которое не может быть получено из рисунка 1. Его предлагается вычислять предложенным выше способом.

Список литературы

1. *Бешта А.А.* Многоагентная эволюционирующая система как средство контроля над внутренним злоумышленником // Вестник волгоградского государственного университета. Серия 10. Инновационная деятельность. Выпуск 6. 2012. – с. 93-97
2. *Бешта А.А.* Архитектура агента контроля над внутренним злоумышленником на основе механизма оценки доверия // Известия Южного федерального университета. Технические науки. 2012 №12 Информационная безопасность. – с. 104-110
3. Trust-Based Security Level Evaluation using Bayesian Belief Networks / *Houmb S. H., Ray, I., Ray I., Chakraborty S.* / Transactions on Computational Science 01/2010; 10:154-186.
4. Evaluation Method for Information Security Levels of CIIP (Critical Information Infrastructure Protection) / *Park S.-T., J.-W. Shin, B.-K. Min, I.-S. Lee, G.-S. Lee, J.-I. Lee* / World Academy of Science, Engineering and Technology 14 2008 p. 711-714.

05.22.07

А.П. Буйносов д.т.н., Я.А. Мишин

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

АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ УЗЛОВ ЭЛЕКТРОВОЗОВ ВЛ10 И ВЛ11 НА ОСНОВЕ ДИАГРАММЫ ИСИКАВЫ

На основе диаграммы Исикавы выполнен анализ надежности узлов электровозов ВЛ10 и ВЛ11 с целью выявления причинно-следственных факторов, получения качественных и количественных характеристик.

Ключевые слова: *электровоз, узел, надежность, диаграмма Исикавы, анализ, причины.*

Неисправности электровоза, вызывающие его остановку, приводят к большим экономическим убыткам [1].

Для повышения долговечности узлов электровозов необходимо постоянно проводить анализ мониторинга выхода их из строя, с целью усиления контроля за ненадежно работающими деталями при производстве текущих ремонтов и технических обслуживаний с разработкой способов повышения их надежности [2, 3].

Одним из способов анализа надежности является сбор и обработка статистической информации. Это позволяет:

– определить причины уменьшения надежности;

– рассчитать количественные показатели надежности узлов и деталей;

– найти уязвимое место в детали электровоза [4–6].

На основе полученных статистических данных в ремонтных локомотивных депо Свердловской дирекции по ремонту тягового подвижного состава в 2011 и 2012 гг. в табл. 1 приведено распределение количества отказов по узлам электровозов ВЛ10 и ВЛ11.

Таблица 1

Распределение количества отказов по узлам электровозов

Наименование узла	Количество отказов	
	2011 г.	2012 г
Тяговые электродвигатели	27	33
Вспомогательное оборудование	9	12
Электронное оборудование	11	13
Механическое оборудование	20	29
Приборы безопасности	8	12
Кузовное оборудование	6	7
Автотормозное и пневматическое оборудование	10	14
Прочие неисправности	3	5
Всего	**94**	**125**

Из табл. 1 видно, что в 2011 г. наибольшее количество отказов приходится на тяговые электродвигатели (27 случаев) и механическое оборудование (20 случаев), а в 2012 г. – 33 и 29 случая, соответственно, что в сумме в 2011 г. составляет 50 %, а в 2012 г. – уже более 50 % от общего количества отказов.

Рассмотрим узлы механической части электровозов ВЛ10 и ВЛ11 требующие «первоочередной доработки» [7].

При установлении причинно-следственных связей между объектом анализа и влияющими на него факторами используется диаграмма Исикавы [8].

Диаграмма Исикавы – это инструмент, обеспечивающий системный подход к определению фактических причин возникновения дефектов в узлах электровозов. Диаграмма позволяет в простой и доступной форме систематизировать все потенциальные причины рассматриваемых проблем, выделить самые существенные из них и провести поэтапный поиск первопричин для эффективного их разрешения [9].

Для распределения в сжатой форме и логической последовательности причин возникновения дефектов [10, 11], которые привели к отказу узлов электровозов, построим диаграмму Исикавы (рис. 1).

Рис. 1. Диаграмма Исикавы для дефектов, оказавшихся в области риска

Анализируя построенную причинно-следственную диаграмму (см. рис. 1) можно сделать вывод, что наибольшее возникновение отказов происходит из-за повреждения роликов подшипников [12]. Этот факт подтверждается количеством дефектов – 38, по сравнению с остальными видами дефектов: шум редуктора – 27, повреждение внутренних и наружных колец подшипников – 13, повреждение моторно-осевого подшипника – 11. Истинными причинами возникновения дефектов стали: трещины и изломы роликов, рифление и износ поверхности роликов, монтажные задиры и электроожоги на поверхностях роликов [13, 14].

Проведенный анализ свидетельствует о том, что лимитирующим узлом в конструкции электровозов являются буксовый, моторно-осевой и моторно-якорный подшипники [15].

Таким образом, с целью поддержания электровозов в работоспособном состоянии и обеспечения безопасности движения требуется разработка технических мероприятий направленных на повышение надежности подшипников [16, 17].

Для этого необходимо:

1) исследовать причины возникновения трещин и изломов в роликах, рифлений, износа и электроожогов их поверхности [18];

2) разработать эффективные меры для повышения долговечности роликовых подшипников [19];

3) устранить монтажные задиры при техническом обслуживании и ремонте электровозов [20].

Таким образом, практическое использование диаграммы Исикавы для проведения анализа отказов узлов и деталей электровозов позволяет выявить причинно-следственные связи между дефектами и причинами отказов, получать их качественные и количественные характеристики.

Список литературы

1. *Буйносов А.П., Воробьев А.А.* Анализ влияния разности диаметров колесных пар по кругу катания на экономическую реализацию их ресурса // Транспорт Урала. 2010. № 2. С. 48-52.
2. *Буйносов А.П.* Выбор профиля бандажей колесных пар электровозов ВЛ11 // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. 2012. № 1. С. 169-173.
3. *Буйносов А.П., Тихонов В.А.* Методика прогнозирования ресурса бандажей колесных пар локомотивов // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2012. № 5. С. 136-144.
4. *Буйносов А.П.* Методика оценки ресурса бандажей колесных пар тягового подвижного состава // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 2. С. 116-121.
5. *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.
6. *Буйносов А.П., Тихонов В.А.* Оптимизация остаточного проката бандажей при обточке колесных пар электровозов ВЛ11 // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 4. С. 69-74.
7. *Буйносов А.П.* Основные причины интенсивного износа бандажей колесных пар подвижного состава и методы их устранения. – Екатеринбург : Изд-во УрГУПС, 2009. 224 с.
8. *Исикава К.* Японские методы управления качеством. М.: Экономика, 1988. 216 с.
9. Стандарт ОАО «РЖД». СТО 1.05.515.3-2009. Методы и инструменты улучшений. Диаграмма Исикавы (утв. распоряжением ОАО «РЖД» 02.06. 2009 г. № 1150р).
10. *Буйносов А.П., Тихонов В.А.* Разработка автоматизированного рабочего места мониторинга параметров колесных пар локомотивов // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. 2011. № 1. С. 43-46.
11. *Горский А.В., Буйносов А.П.* Анализ износа бандажей // Железнодорожный транспорт. 1991. № 1. С. 46-47.
12. *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.
13. *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.
14. *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.
15. *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.
16. *Буйносов А.П., Наговицын В.С.* Новый смазывающий состав повышает надежность // Локомотив. 1998. № 7. С. 34-36.
17. *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.
С. 117-120.
18. *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.
19. *Буйносов А.П., Мишин Я.А.* Повышение надежности тяговых редукторов электровозов // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 3. С. 85-89.
20. *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.

05.22.07

А.П. Буйносов д.т.н., Я.А. Мишин

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

АНАЛИЗ ОТКАЗОВ УЗЛОВ ЭЛЕКТРОВОЗОВ ПОСТОЯННОГО ТОКА НА ОСНОВЕ ЗАКОНА ПАРЕТО

В статье рассматривается применение закона Парето для анализа отказов узлов электровозов постоянного тока для выявления причин возникновения дефектов.

Ключевые слова: *электровоз, узел, отказ, закон Парето, анализ, причины.*

В последние годы с целью повышения эффективности функционирования отрасли разработана программа «Стратегии развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации», в результате которой производится модернизация локомотивов и ремонтных комплексов [1, 2].

Это позволило в силовых передачах и управляющих устройствах локомотивов применить электронные системы автоматики, а в конструкции – новые высокопрочные материалы и технологии [3–5].

В ремонтном комплексе внедряются диагностирующие и испытательные стенды, старое ремонтное оборудование заменяется автоматизированным и механизированным, а при решения эксплуатационных задач используется электронно-вычислительная технику [6, 7].

Не смотря на совершенствование узлов и деталей локомотивов, оборудования и технологии для их ремонта, случаи возникновения отказов не уменьшились [8].

На основе собранной статистической информации об отказах узлов грузовых электровозов постоянного тока в ремонтных локомотивных депо Свердловской дирекции по ремонту тягового подвижного состава структурного подразделения Дирекции по ремонту тягового подвижного состава – филиала ОАО «РЖД» выявлено, что в 2012 г. было допущено 278 отказов (событий), связанных с нарушением безопасности движения поездов и эксплуатации железнодорожного транспорта, что на 39 % больше, чем в 2011 г. (200 событий).

После обработки полученных данных установлено, что в 2011 г. произошло 94 отказа по причине неисправностей в узлах электровозов, а в 2012 г. в узлах этих же электровозов произошло 125 отказов. Выполненный анализ позволил выявить узлы с наибольшей частотой возникновения отказов и имеющих выраженную вариабельность (виды дефектов и их причины) (табл. 1).

Для оценки причинно-следственных связей между дефектами и причинами отказов узлов электровозов воспользуемся законом Парето. Закон Парето, или принцип Парето формулируется так: 20 % усилий дают 80 % результата, а остальные 80 % усилий – лишь 20 % результата. Иначе говоря, правильно выбрав самые важные факторы (причины или действия), можно быстро получить значительную часть от планируемого полного результата, при этом дальнейшие улучшения неэффективны и могут быть неоправданны [9]. Диаграмма Парето – графическое отражение закона Парето, кумулятивной зависимости распределения дефектов узлов электровозов, она позволяет выявить и отобразить первоочередные проблемы и распределить усилия с целью их эффективного решения; установить основные причины, с которых нужно начинать действовать [10, 11].

Для построения диаграммы Парето для выявления наиболее значимых дефектов в узлах, ставших причинами нарушения правил безопасности движения и эксплуатации

железнодорожного транспорта в 2012 г. на оси абсцисс откладываем название дефектов, а на оси ординат – их количество.

Таблица 1

Классификация дефектов узлов электровозов постоянного тока

Дефекты узлов	Количество дефектов	Накопленная сумма количества дефектов	Процент числа дефектов от общего количества дефектов	Накопленный процент
Повреждение роликов подшипника	38	38	34	34
Шум редуктора	27	65	24	58
Повреждение внутренних и наружных колец подшипника	13	78	12	70
Повреждение моторно-осевого подшипника	11	89	10	79
Повреждение малой шестерни	8	97	7	87
Повреждение большого зубчатого колеса	7	104	6	93
Наличие металла в редукторе	5	109	4	97
Повреждение корпуса редуктора	3	112	3	100
Итого:	**112**	–	**100**	–

Далее строим столбчатую диаграмму, где каждому дефекту соответствует свой столбик, вертикальная сторона которого равна количеству дефектов. Дефекты откладываем в порядке убывания. Если при построении диаграммы получаем, что ряд столбцов имеют одинаковую высоту, то это означает их одинаковый «вклад в образование дефектов» узлов электровозов.

Далее на уровне 80 % проводим горизонтальную линию до пересечения с кумулятивной кривой и из точки пересечения опускаем перпендикуляр на горизонтальную ось. Дефекты, которые расположены слева от перпендикуляра являются значимыми (рис. 1).

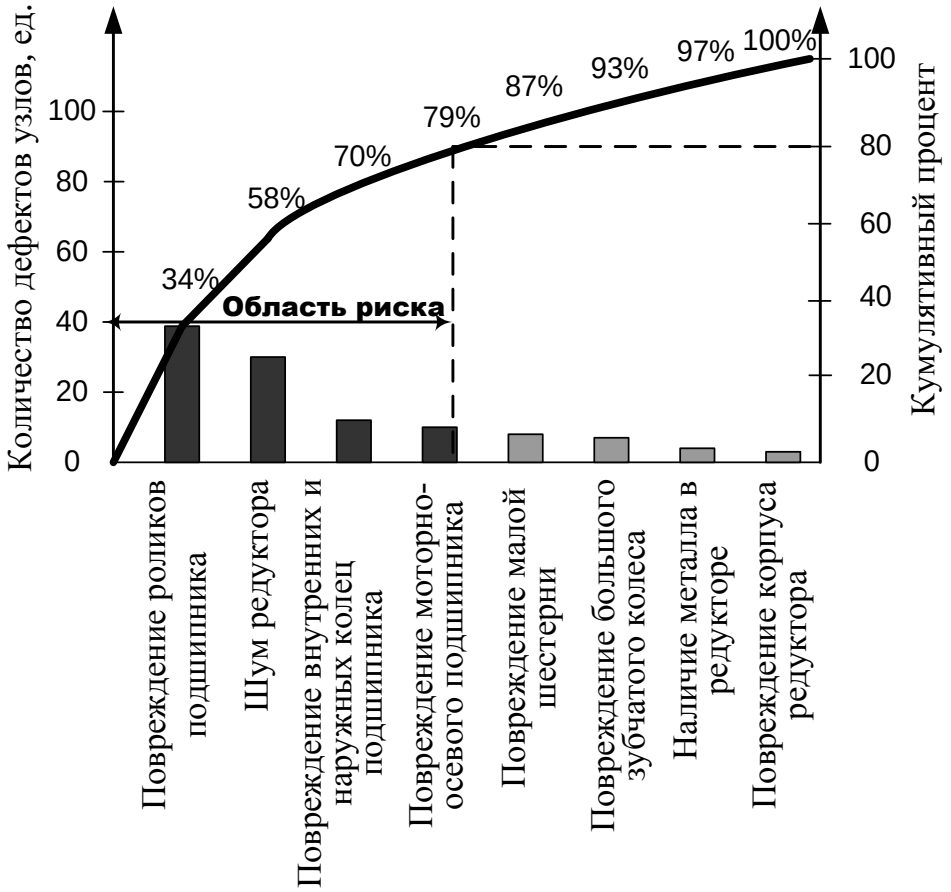


Рис. 1. Диаграмма Парето по видам дефектов узлов электровозов постоянного тока

Из построенной диаграммы Парето видно, что в области риска оказались такие дефекты как: повреждение роликов подшипника, шум редуктора, повреждение внутренних и наружных колец подшипников, повреждение моторно-осевого подшипника (49,6 %).

С целью уменьшения дефектов и поддержания электровозов в работоспособном состоянии требуется разработка способов направленных на повышение надежности подшипников и тягового редуктора электровозов постоянного тока [12–14]. Для этого необходимо: исследовать причины возникновения трещин и изломов в роликах, рифлений, износа и электроожогов их поверхности [15, 16]; 2) разработать эффективные меры для повышения долговечности роликовых подшипников [17]; 3) повысить надежность работы моторно-осевого подшипника [18]; 3) устранить монтажные задиры при техническом обслуживании и ремонте электровозов [19].

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.* Методы повышения ресурса колесных пар тягового подвижного состава / Монография. М.: ГОУ «УМЦ по образованию на железнодорожном транспорте, 2010. 244 с.
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., Тихонов В.А.* Оптимизация остаточного проката бандажей при обточке колесных пар электровозов ВЛ11 // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 4. С. 69-74.
6. *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.
7. *Наговицын В.С., Буйносов А.П., Трофимов М.Н., Цихалевский И.С*. Обработка бандажей колесных пар локомотивов составом НИОД // Вестник Российской Академии транспорта. Уральское межрегиональное отделение. 1998. С. 136-138.
8. *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.
9. *Буйносов А.П., Козаков Д.Ю.* Анализ процессов эксплуатационного износа гребней бандажей колесных пар электровозов // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 3. С. 79-84.
10. *Буйносов А.П., Тихонов В.А*. Наноматериал увеличит срок службы бандажей колесных пар // Научное обозрение. 2011. № 5. С. 266-274.
11. *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.
12. *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.
13. *Буйносов А.П., Наговицын В.С.* Новый смазывающий состав повышает надежность // Локомотив. 1998. № 7. С. 34-36.
14. *Наговицын В.С., Буйносов А.П.* Структурная классификация средств диагностики тягового подвижного состава // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 6. С. 326-329.
15. *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.
С. 117-120.
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., Гузенкова Е.А., Мишин Я.А.* Повышение надежности роликовых подшипников тяговых двигателей электровозов постоянного тока // Научно-технический вестник Поволжья. 2013. № 1.
18. *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.
19. *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.

05.11.16

А.М. Васильев, М.А. Костромин, А.П. Резько

Московский государственный университет приборостроения и информатики,
факультет приборостроения и радиоэлектроники,
кафедра приборов и информационно-измерительных систем,
Москва, vslepsov@gmail.com

РАЗРАБОТКА ОБОБЩЕННОЙ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ И УПРАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ РОБОКАРА

В работе представлены результаты разработки обобщенной функциональной схемы информационно-измерительной и управляющей системы робокара, который представлен в виде совокупности информационно-измерительной и управляющей системы и совокупности исполнительных устройств. Такое представление позволяет системно подойти к проектированию как всего робокара, так и его компонентов.

Ключевые слова: *робокар, автоматизация производства, информационно-измерительная и управляющая система, обобщенная функциональная схема.*

Автоматизация производства – это процесс в развитии приборостроительного производства, при котором часть или весь комплекс операций по качественному преобразованию состояния исходного сырья, управлению и контролю, ранее выполнявшиеся человеком, передаются автоматическим устройствам и приборам. Следует отметить, что одним из важнейших процессов в автоматизированном производстве является процесс перемещения грузов, от которого во многом зависит производительность всей системы.

К основным направлениям такой автоматизации относятся:

• совершенствование подъемно-транспортных машин путем дополнительного оснащения устройствами автоматики или их замена специальными подъемно-транспортными роботами;

• установка роботов в местах загрузки-разгрузки конвейеров, платформ, транспортных тележек;

• использование автоматических средств, рельсового и безрельсового напольного транспорта, главным образом, робокаров;

• применение программно-управляемых стеллажных кранов-штабелеров на складах.

Для перемещения грузов на значительные расстояния (например, в пределах цеха или из одного цеха в другой) и по различным трассам в последние годы все шире используются роботизированные транспортные устройства, в особенности безрельсовые автоматические тележки -робокары, заменяющие обычные сопровождаемые водителями электрокары и электропогрузчики. Робокара представляет собой самоходную безрельсовую тележку, автоматически движущуюся по заданной трассе и останавливающуюся в местах загрузки-разгрузки с помощью специальных устройств маршрутослежения - механических, оптических, индукционных и др. [1].

На трассе движения робокары намечаются и кодируются характерные узловые точки - места остановок, перекладок, ответвлений, трассы и др. - и оборудуются светоотражающими, электромагнитными, либо иными информационными устройствами, с которыми взаимодействуют при подходе к ним датчики внешней информации робокары. В результате сигналы от датчиков направляются в управляющую компьютерную систему, где на основании программы с учетом текущей информации обратных связей формируются команды управления дальнейшими действиями робокары. Задание программы осуществляется с помощью клавишного пульта, установленного на робокаре. При большом

числе робокар и сложной разветвленной трассе управление их согласованными движениями осуществляется со стационарного центрального пульта

Последний оборудуется средствами программирования, а также световым табло, отражающим схему трассы и положение робокар на трассе в каждый данный момент [2].

«Интеллектуализация» робокар требует комплексного решения бортовыми средствами следующих основных задач:

• дистанционное определение геометрических и опорных характеристик зоны маневрирования;

• определение текущих координат и ориентации робокар;

• формирование оперативной (локальной) и тактической (глобальной) моделей внешней среды с учетом оперативной (показания бортовых датчиков и сенсоров) и априорной (картографические данные) информации о районе маневрирования;

• планирование целенаправленных траекторий движения на оперативном и тактическом уровнях;

• отработка планируемых траекторий движения;

• контроль и диагностика программно-аппаратных средств бортовой системы управления и двигательной установки.

В системе управления робокаров можно выделить три уровня.

Первый уровень (управления задачами) обеспечивает надзор за состоянием вспомогательных устройств, находящихся на территории магазина, определение текущего положения тележек, надзор за состоянием тележек и выбор мест перемещения тележек с палетами или заготовками.

Второй уровень (управления движением на территории) обеспечивает координацию движения тележек, непрерывную связь между ними и компьютером, передачу команд от компьютера к тележкам.

Третий уровень (процессор внутри тележки) оценивает ее положение внутри участка, преобразует команды системы управления движением (скоростью и ускорением), контролирует состояние механизмов тележки и действие загрузочных устройств.

Учет данного материала, а также анализ рассмотренных выше типов робокар позволяет определить их усредненные характеристики:

• грузоподъемность - до 500 кг;

• скорость перемещения - до 70 м/мин;

• ускорения при разгоне и торможении соответственно - до 0,5 и 0,7 м/с^2;

• ускорение при аварийном торможении – до 2,5 м\с^2;

• величина подъема палеты — до 130 мм;

• точность остановки робокара — не более 30 мм;

• время цикла перегрузки — не более 3 с;

• радиус поворота на максимальной скорости — не более 0,9 м;

• время работы без подзарядки аккумуляторов — не менее 6 ч;

• напряжение аккумуляторной батареи — 24В;

• мощность каждого из двух приводных двигателей — до 600 Вт;

• собственная масса робокара — около 425 кг.

Существующий стандарт [2] регламентирует следующие технические характеристики робокар, представленные в табл. 1.

Табл. 1

Ном. груз, кг	Маршевая скорость, м/с	Скорость маневра, м/с	Скорость позиционирования, м/с	Мин. радиус кривизны, мм	Продольная ошибка, мм	Поперечная ошибка, мм
250	1	0,5	0,1	1000	± 5	± 10
500	1	0,5	0,1	1000	± 5	± 10
1000	1	0,5	0,1	1000	± 5	± 10
2000	0,63	0,32	0,1	1100	± 5	± 10
3200	0,63	0,32	0,1	1200	± 5	± 10

При этом допускаются отклонения в скоростях перемещения в пределах $\pm 15\%$ и в радиусе кривизны в пределах ± 5 %.

Как показал проведенный анализ в робокаре можно выделить следующие основные элементы:

• центральное устройство управления, осуществляющее координацию работы всех остальных элементов;

• устройство расчета траектории движения (CPU2), вырабатывающее управляющие сигналы на центральное устройство управления и устройство интерполяции;

• устройство интерполяции (CPU_1), осуществляющее выработку управляющих сигналов на исполнительные приводы (разгон, торможение и т.д.);

• n устройств регуляторов ($CPU_{T1}....CPU_{Tn}$), осуществляющих совместно с n усилителями мощности выработку управляющих сигналов на n транспортных исполнительных устройств (электродвигателей);

• m устройств регуляторов ($CPU_{o1}....CPU_{om}$), осуществляющих совместно с n усилителями мощности выработку управляющих сигналов на m ориентирующих исполнительных устройств (электродвигателей);

• $n+m$ датчиков положения и скорости, осуществляющих выработку сигналов по скорости и положению каждой из управляемых координат, необходимых для работы РТУ;

• устройство управления технологическим оборудованием CPU_3, осуществляющее совместно с усилителем мощности выработку управляющих сигналов на исполнительное устройство технологического оборудования (схват и др.);

• k технологических датчиков, осуществляющих выработку сигналов о параметрах технологического процесса.

Робокар можно также представить в виде совокупности информационно-измерительной и управляющей системы (ИИУС) и $n+m+1$ исполнительных устройств. Разработка обобщенной функциональной схемы информационно-измерительной и управляющей системы робокара позволяет системно подойти к проектированию как всего робокара, так и его компонентов [3].

Список литературы

1. *Бурдаков С.Ф., Мирошник И.В., Стельмаков Р.Э.* Система управления движением колесных роботов. - СПб.: Наука, 2001. – 228 с.

2. *Воротников С.А.* Информационные устройства робототехнических систем: учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению "Механотроника и робототехника". – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. – 382 с.

3. *Васильев А.М.* Современные распределенные информационно-измерительные системы. Методология построения. Книга 1.- М.: МГУПИ, 2008. – 235 с. ил.

05.02.07

В.В. Глебов, А.Ю. Шурыгин, А.В. Курненков

Арзамасский политехнический институт (филиал) Нижегородского государственного технического университета имени Р.Е. Алексеева, кафедра технологии машиностроения, Арзамас, ashurigin@hotbox.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ УСТАНОВКИ ОЧИСТКИ СОЖ НА ГИДРОДИНАМИЧЕСКУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ ПОТОКА НА ОСНОВЕ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

В работе на основании конечно-элементного моделирования установлены зависимости длины образующей, на которой наблюдается устойчивое течение потока на поверхности ротора, от технологических (расхода жидкости и частоты вращения ротора), а также конструктивных параметров (формы и материала ротора) установки очистки смазочно-охлаждающей жидкости.

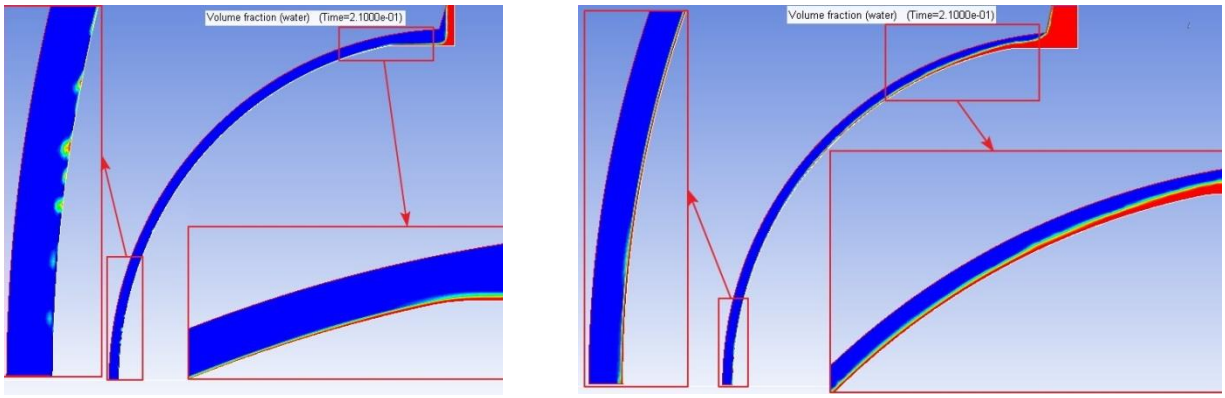
Ключевые слова: *смазочно-охлаждающая жидкость, очистка, ротор, конечно-элементное моделирование, устойчивость*.

Применение тонкопленочного течения и центробежного поля позволяет интенсифицировать совмещенные процессы непрерывной очистки смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ), рекуперации (извлечения для повторного использования) и классификации (разделения на фракции) абразивных зерен. Для реализации данных процессов разработана конструкция установки, составными элементами которой являются ротор с криволинейной образующей и приемник для сбора фракций [1, 2]. Вращение ротора осуществляется с помощью электродвигателя переменного тока и частотного преобразователя для регулирования частоты вращения. Подача жидкости на ротор осуществляется через штуцер, внутренний диаметр которого зависит от расхода жидкости. Эффективность очистки СОЖ и процессов рекуперации и классификации во многом зависят от устойчивого потока жидкости на поверхности вращающегося ротора, отсутствие которого создает волновое течение жидкости и, как следствие, переменную толщину потока.

Основными технологическими параметрами работы установки являются угловая скорость вращения ротора и расход жидкости, а конструктивными параметрами являются материал и форма ротора, а также высота, на которой установлено сопло для подачи СОЖ. В работе проведено исследования их влияния на устойчивость и безотрывность потока. Для моделирования гидродинамики потока со свободной поверхностью на вращающемся роторе с криволинейной образующей использовалось моделирование на основе метода конечных элементов. В нашем случае применение данного метода позволяет наглядно промоделировать гидродинамику жидкости на поверхности ротора, которая описывается сложной системой уравнений Навье-Стокса [3]. При моделировании использовалась двухмерная расчетная сетка, содержащая 7488 ячеек, с размером основной ячейки 0,2 мм и размером 0,05 мм для ячеек приграничного слоя, высота которого составила 0,3 мм, а также использовалась модель свободной поверхности [4].

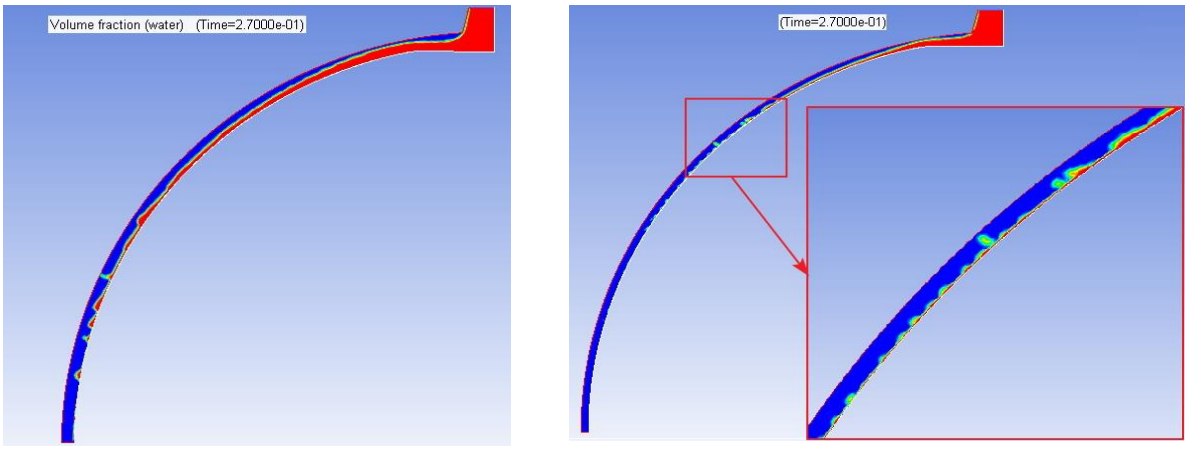
На первом этапе было проведено исследование влияния свойств жидкостей (поверхностного натяжения, плотности и вязкости) на устойчивость и безотрывность потока. Моделирование проводилось для следующих жидкостей: воды, воды с добавлением поверхностно активных веществ, масла низкой вязкости и масла высокой вязкости. Моделирование показало, что поведение водных СОЖ на поверхности вращающегося ротора более устойчиво по сравнению с масляными СОЖ.

В дальнейшем исследование влияния технологических параметров проводилось как для водных, так и для масляных СОЖ. Влияние угловой скорости вращения ротора для водных СОЖ исследовалось путем моделирования гидродинамики потока на поверхности сферического ротора радиусом 65 мм при расходе 1,4 л/мин для угловых скоростей 50, 150 и 400 рад/с. Влияние расхода жидкости исследовалось при угловой скорости вращения ротора 150 рад/с для расхода 0,5, 2 и 5 л/мин (рис. 1). Результаты моделирования при исследовании свойств жидкостей показали, что моделирование гидродинамики потока масла целесообразнее проводить по сравнению с водой при меньших значениях частоты вращения в связи с большей устойчивостью потока.



а) б)

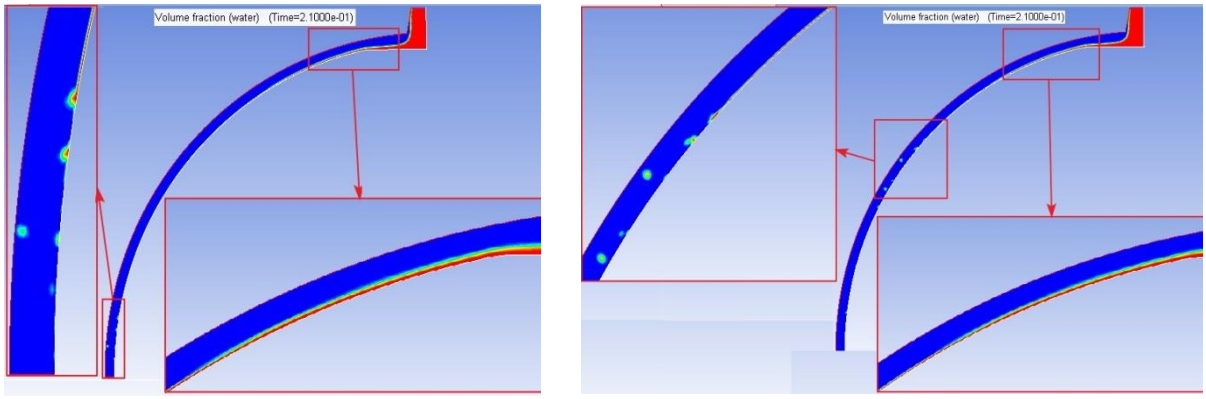
Рис. 1 – Результаты моделирования для расхода СОЖ (а) 0,5 л/мин и (б) 5 л/мин при угловой скорости вращения ротора 150 рад/с (водная СОЖ)



а) б)

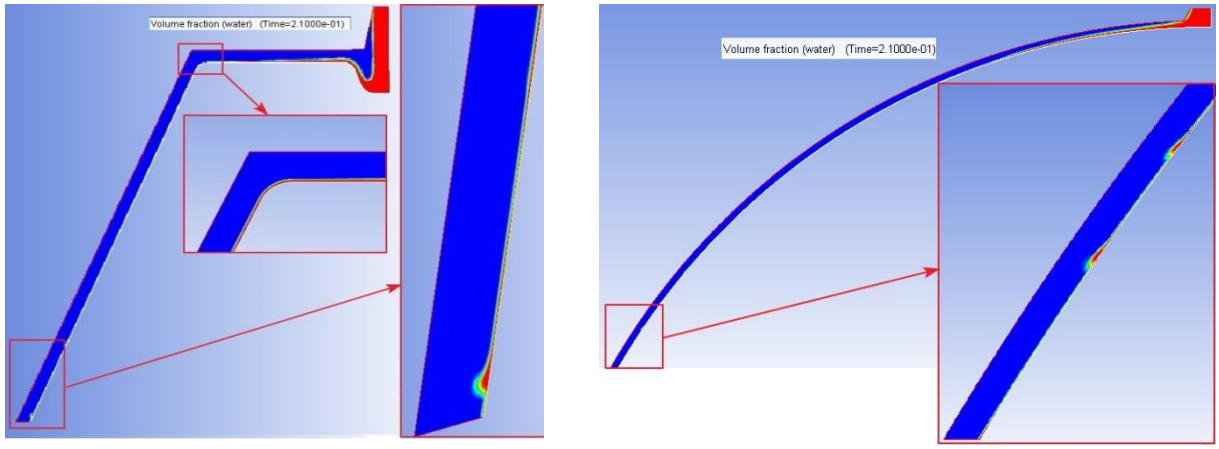
Рис. 2 – Результаты моделирования для угловой скорости вращения ротора (а) 50 рад/с и (б) 200 рад/с при расходе 3,5 л/мин (масляная СОЖ)

Влияние угловой скорости вращения ротора для масляной СОЖ динамической вязкостью 0,05 кг/(м×с) исследовалось путем моделирования гидродинамики потока на поверхности сферического ротора радиусом 65 мм при расходе 3,5 л/мин для угловых скоростей 50, 100 и 200 рад/с (рис. 2). Влияние расхода исследовалось при угловой скорости вращения ротора 50 рад/с для расхода 0,5, 2 и 3,5 л/мин.



а) б)

Рис. 3 – Результаты моделирования для контактного угла смачивания (а) 30° и (б) 90°



а) б)

Рис. 4 – Результаты моделирования для (а) конического и (б) эллипсоидального ротора

Исследование влияния конструктивных параметров проводилось только на основе водных СОЖ. Исследовалось влияние смачиваемости поверхности ротора для значений контактных углов 30°, 90° и 120° при угловой скорости 150 рад/с и расходе 2 л/мин (рис. 3). При этом смачиваемость поверхности зависит как от материала ротора, так и ее шероховатости. При тех же режимах исследовалось влияние высоты подачи СОЖ над вершиной ротора для значений 2 мм, 6 мм и 10 мм. При моделировании исследовались следующие формы ротора: полусфера радиусами 35 мм, 65 мм и 100 мм, усеченный конус с диаметром основания 115 мм и углом наклона образующей 65°, эллипсоид с радиусом большой полуоси 100 мм и радиусом малой 50 мм. Влияние формы ротора исследовалось при угловой скорости 120 рад/с и расходе 1,4 л/мин (рис. 4).

Таким образом, на основании моделирования гидродинамики потока со свободной поверхностью на вращающемся роторе с криволинейной образующей выявлено:

- для технологических параметров: как для водных, так и для масляных СОЖ с увеличением угловой скорости вращения ротора длина образующей, на которой наблюдается устойчивое течение потока, уменьшается, а с увеличением расхода длина образующей, на которой наблюдается устойчивое течение, наоборот, увеличивается;
- для конструктивных параметров: с увеличением контактного угла смачивания и высоты подачи СОЖ длина образующей, на которой наблюдается устойчивое течение потока, уменьшается, а с увеличением радиуса полусферы длина образующей, на которой наблюдается устойчивое течение потока, наоборот, увеличивается.

Результаты проведенного моделирования совместно с экспериментальными исследованиями позволят в дальнейшем оптимизировать конструктивно-технологические параметры установки очистки СОЖ по критерию устойчивости и безотрывности потока.

Список литературы

1. Пат. 46951 Российская Федерация, МКП[7] B 04 C 5/08. Устройство для рекуперации и классификации абразивных зерен из СОЖ / Сорокин В.М., Пучков В.П., Глебов В.В., Шурыгин А.Ю., Новичихин В.А. – №2005107955/22. заявл. 21.03.2005, опубл. 10.08.2005, Бюл. №22.
2. Разработка конструкции установки для очистки СОЖ с применением программы Proengineer / В.В. Глебов, А.Ю.Шурыгин, Н.А. Помелов, О.М. Колганова, А.В. Курненков // Казанская наука. – 2010. – № 9 Вып. 1. – С. 102-105.
3. Расчет основных технологических параметров процесса отделения абразивной фракции из СОЖ центрифугированием / В.В. Глебов, В.П. Пучков, В.М. Сорокин, А.Ю. Шурыгин // Справочник. Инженерный журнал. – М.: Машиностроение, 2006. – №1. – С. 9-13.
4. CFD modeling of a rotating disk reactor / B. de Caprariis, N. Verdone, M. Parisi, A. Chianese // Dip. di Ingegneria Chimica Materiali Ambiente, Università degli Studi di Roma “La Sapienza”, Italy, 2010.

05.04.12

М.В. Дерябкина

Калужский государственный университет имени К.Э. Циолковского,
Калуга, deryabkinaMV@yandex.ru

НЕКОТОРЫЕ ПРОБЛЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЯ КАВИТАЦИОННЫХ ЯВЛЕНИЙ

В работе проведен подробный анализ современных результатов исследования кавитационных явлений в процессах эрозионного износа энергетического оборудования. Показано, что, несмотря на большой объем имеющихся данных, не существует универсальных критериев оценки кавитационного износа, однозначного для всех видов металлов и сплавов. Кроме того, сопоставимость результатов экспериментов по моделированию износа, полученных на разных установках представляет затруднения.

Ключевые слова: *кавитационный износ, критерии стойкости, критерии износа, эрозия оборудования, агрессивная среда, паровые турбины, влажный пар.*

Результаты многолетних исследований США, Германии и России показывают, что появление эрозионно-коррозионных повреждений преобладает в системах, работающих в агрессивных средах, в частности во влажном паре. В естественных условиях все виды эрозии (электрохимическая и химическая коррозии, каплеударная и кавитационная эрозия) действуют одновременно и взаимосвязаны друг с другом. Преобладание того или иного вида эрозии зависит от параметров рабочего тела и поверхности металла.

При достаточно высоких скоростях двухфазного потока, числе Рейнольдса $\mathrm{Re}_s > 10^5$ и резком изменении геометрии канала основной причиной разрушения металла считается кавитационная эрозия [1, 2]. Кавитационные явления способствуют разрушению поверхностей, имеющих соприкосновение с агрессивной средой - лопастей гребных винтов, элементов гидроприводов, двигателей внутреннего сгорания, гидро- и паротурбин.

Существующие в настоящее время теории кавитационного износа (коррозионная, механическая, гидроэлектрическая, обобщенная и теория кумулятивных струй) описывают причины возникновения разрушений и предлагают меры защиты металлов. Наиболее признанной является обобщенная теория, рассматривающая кавитационный износ как результат влияния на металл ударно-механических, коррозионных и электрических факторов. Открытым вопросом в ней остается определение соотношений скоростей коррозионного и механического износа, которое оценивается в достаточно широких пределах в зависимости от температуры воды.

Теория, основанная на воздействии кумулятивных струй (Ф.Хаммит и М.Робинсон), предполагает, что кавитационные разрушения обусловлены действием высокоскоростных микроструй воды, создаваемых при торроидальном схлопывании пузырьков.

Не существует единого мнения об основной причине кавитационного износа. В работе [3] основной причиной износа считается высокочастотный импульс отрывного действия микрообъемов жидкости, вызываемый высокочастотными срывами вихрей. Это утверждение основывается на наличии рваных краев неправильной формы очагов эрозии. В исследовании [4], это утверждение опровергается, а наличие очагов неправильной формы объясняется хрупким разрушением и скалыванием металла «при достижении ими твердости «насыщения» в результате наклепа в процессе непрерывного бомбардирования кавитационными ударами».

В работе [5] кавитационное изнашивание связано с воздействием ударных волн и гидроударов импульсных струй жидкости во взаимосвязи с особенностями структуры металла. В результате структурно-энергетического подхода предложена модель процесса эрозии, учитывающая расход общей энергии на механическую и тепловую составляющие, а

также на фазовые превращения. Однако, влияние химических и электрических явлений, сопутствующих кавитационному разрушению не учитывается.

Таким образом, можно сказать, что единая теория кавитационного износа отсутствует, следовательно, эффективных универсальных мер ее предотвращения при использовании энергооборудования не предлагается.

При моделировании процессов кавитационных разрушений металла чаще всего используют ударно-поршневые установки, магнитострикционные вибраторы и струйные гидродинамические излучатели [6]. Такое многообразие установок для изучения кавитационной эрозии является одной из проблем, затрудняющей сопоставимость полученных на них результатов даже для одних и тех же материалов. Другая не менее важная проблема, связанная с кавитационной эрозией, состоит в определении зависимости между какой-либо характеристикой металла и его кавитационной износостойкостью.

Хорошая корреляционная связь между кавитационной износостойкостью и пределом текучести, твердостью, пределом прочности, ударной вязкостью или комплексом этих характеристик наблюдается лишь для конкретного класса материалов [7]. Было предпринято много попыток установить эту взаимосвязь, но практически все оказались неудачными и были опровергнуты впоследствии. Это объясняется тем, что сопротивляемость металла кавитационной эрозии определяется не его механическими свойствами, а прочностью отдельных структурных составляющих, и присутствием коррозионного фактора.

Подобное многообразии подходов к проблеме кавитации наблюдается и в определении основных критериев износа. В [4] эмпирическим путем был получен критерий для материала, подвергающегося кавитационному воздействию в коррозионной среде:

$$Z = F(H_0; \Delta H; B),$$

где $\Delta H = H_{\max} - H_0$, $H_{\max}$ - микротвердость насыщения (максимально достижимая микротвердость поверхности в результате упрочнения при кавитационном воздействии), H_0 - начальная микротвердость, В – аргумент коррозионной активности материала или покрытия в данной жидкой среде.

К недостаткам этого критерия можно отнести неясный физический смысл и неприменимость для разупрочняющихся материалов ($\Delta H < 0$).

В работе [8] был предложен энергетический критерий износостойкости S_e, определенный как площадь диаграммы напряжение-деформация материала, доведенного до разрушения. По мнению [7] удельная энергия является более общим критерием по сравнению с механическими свойствами металлов, а значит, связь между этой величиной и кавитационной износостойкостью будет проявляться для большего количества сплавов. Однако существуют данные об отсутствии связи между S_e и износостойкостью [9]. Это объясняется тем, что удельная энергия деформации есть величина, осредненная по сечению, а процесс разрушения начинается с отдельных микроучастков металла, насыщенных предельной энергией деформации [10]. Следовательно, кавитационную износостойкость необходимо связывать с критическим объемом разрушения, который зависит лишь от типа кристаллической решетки. Основываясь на этом предположении, энергию деформации металла с иным типом кристаллической решетки предлагается заносить в ряд кавитационной износостойкости только после корректировки значения энергии деформации [11].

Критическая плотность потока мощности деформации, также может быть использована в виде критерия [12] :

$$W^*_{кр} = \frac{1}{3} \cdot E_{уд} \cdot v_{кр},$$

где $v_{кр}$ - критическая скорость удара, $E_{уд}$ - удельная энергия разрушения материала.

Критерий $W^*_{кр}$ является универсальным и подходит для кавитационной, гидроабразивной и других видов эрозии, но широкого применения не получи из-за сложности определения

условий изнашивания с точки зрения масштабного уровня разрушения и напряженного состояния поверхности.

Таким образом, в настоящее время остается ряд важных и перспективных направлений в области исследования процессов кавитационной эрозии:

- выявление надежного критерия кавитационной износостойкости, однозначного для всех видов металлов и сплавов;
- разработка критерия сопоставимости результатов экспериментов, полученных на разных установках;
- исследование влияния электрохимической коррозии.

Список литературы

1. *Томаров, Г.В.* Повышение надежности и эксплуатационного ресурса энергетического оборудования, работающего в двухфазных и многокомпонентных потоках : автореф. дис. … д-ра техн. наук : 05.14.14 / Г. В. Томаров ; Моск. гос. откр. ун-т. - М., 2003. – 46 с.
2. *Фаддеев, И.П.* Эрозия влажнопаровых турбин / И.П. Фаддеев. - Л. : Машиностроение, 1974. - 208 с.
3. *Тимербулатов, М.Г.* Влияние коррозии на кавитационную стойкость металлов / М.Г. Тимербулатов // Защита металлов. - 1972. - Т. 6, № 5. - С. 583-587.
4. *Абачараев, М.М.* Кавитация и защита металлов от кавитационных разрушений / М.М. Абачараев. – Махачкала : Даг. кн. изд-во, 1990. - 170 с.
5. *Кондрат, З.* Кавитационно-эрозионная стойкость материалов и покрытий в коррозионно-активных жидких средах : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.02.04 / З. Кондрат; С.-Петербург. гос. техн. ун-т. - СПб., 2004. - 41 с.
6. *Ворошнин, Л.Г.* Кавитационно-стойкие покрытия на железоуглеродистых сплавах / Л.Г. Ворошнин, М.М. Абачараев, Б.М. Хусид; под ред. М.Н. Бодяко. - Минск: Наука и техника, 1986. - 247 с.
7. *Цветков, Ю.Н.* Кавитационное изнашивание металлов и оборудования / Ю.Н. Цветков. - СПб. : Изд-во СПбГПУ, 2003. - 153 с.
8. *Тирувенгадам, А.* Обобщенная теория кавитационных разрушений / А. Тирувенгадам // Тр. американского общества инженеров-механиков. Серия Д. Техническая механика, Ил. – 1963. -Т. 85, № 3.
9. *Погодаев, Л.И.* Повышение эффективности землесосных снарядов / Л.И. Погодаев, Ю.Т. Борщевский, И.М. Федоткин. – Киев : Будівельник, 1974. - 247 с.
10. *Иванова, В.С.* Усталостное разрушение металлов / В.С. Иванова. – М. : Металлургиздат, 1963. - 258 с.
11. *Перельман, Р.Г.* Эрозионная прочность деталей двигателей и энергоустановок летательных аппаратов / Р.Г. Перельман. – М. : Машиностроение, 1980. - 245 с.
12. *Погодаев, Л.И.* Теория и практика прогнозирования износостойкости и долговечности материалов и деталей машин / Л.И. Погодаев, Н.Ф. Голубев. – Спб. : СПГУВК, 1997. - 415 с.

05.11.13

А.А. Елисов

Московский государственный университет приборостроения и информатики,
НУЦ «КАСКАД»,
Москва, petr_shkatov@mail.ru

ИЗМЕРЕНИЕ ГЛУБИНЫ ПОВЕРХНОСТНЫХ ТРЕЩИН В ГАЛТЕЛЬНЫХ ПЕРЕХОДАХ МЕТАЛЛОИЗДЕЛИЙ ЭЛЕКТРОПОТЕНЦИАЛЬНЫМ МЕТОДОМ

Р*абота посвящена разработке средств и способа измерения электропотенциальным методом глубины поверхностных трещин в области галтельных переходов металлоизделий.*

Ключевые слова: *электропотенциальный метод, поверхностная трещина, выпуклая цилиндрическая поверхность, кривизна.*

Для измерения глубины поверхностных трещин широко применяется электропотенциальный метод [1], основанный на пропускании тока через контролируемый участок с помощью токовых электродов и регистрацию напряжения между потенциальными электродами. Для измерения глубины трещин, обычно, применяется электропотенциальный преобразователь (ЭПП), состоящий из токовых и измерительных электродов размещенных на одной прямой. О глубине трещины судят по относительному изменению напряжения при переходе от бездефектного (напряжение $\boldsymbol{U_0}$) к дефектному (напряжение $\boldsymbol{U_r}$). При этом вычисляемая по результатам измерений величина $U^* = (U_r - U_0)/U_0$ не зависит от удельной электрической проводимости металла. Для исключения влияния магнитной проницаемости металла достаточно проводить измерения на постоянном токе [1].

Вместе с тем, на величину U^*, помимо измеряемого параметры – глубины трещины $\boldsymbol{h}$, влияет длина ℓ трещины, толщина Т контролируемого участка и кривизна поверхности [2-3]. В работе [4] аналитически решена задача интерпретации результатов измерения глубины трещин конечной длины ортогональных к поверхности в плоских пластинах электропотенциальным методом с использованием постоянного тока. Полученное решение используется в электропотенциальном измерителе глубины трещин «ЗОНД ИГТ-98» [5]. Однако возможная кривизна поверхности при интерпретации результатов измерения в разработанном алгоритме не учитываются. Вместе с тем глубину трещин необходимо измерять и на цилиндрических вогнутых и выпуклых поверхностях, например, на поверхностях труб, валов, галтельных переходов. В работе [6] показано, что влияние кривизны поверхности на погрешность измерения глубины трещин существенно и его необходимо учитывать и получены зависимости $U^* = U^*(h, \ell, T, 1/r)$ при разных значениях кривизны $1/r$ цилиндрической поверхности.

Вместе с тем, установка традиционного ЭПП для измерения глубины трещин на вогнутых поверхностях, в частности, в области галтельных переходов (рис. 1–а) зачастую сложна или вообще невозможна. Сложность связана с необходимостью установки токовых и потенциальных электродов, ориентированных в различных направлениях. Из-за этого происходит "заклинивание" электродов, которые должны быть подпружинены и иметь возможность перемещения для создания соответствующего давления в точке контакта. Кроме того, возможность применения традиционного ЭПП ограничивается значительным расстоянием между токовыми электродами, что необходимо для обеспечения необходимой чувствительности к глубине трещины в верхнем диапазоне ее изменения [3]. Так, например, для измерения глубины трещин в диапазоне до 10 мм расстояние R_T между токовыми электродами должно составлять не менее 20 мм.

В связи с этим были проведены исследования специализированного ЭПП для измерения глубины трещин в галтельных переходах. Схема его установки представлена на рис. 1–*б*.

Здесь электроды ориентированы в одном направлении, а расстояния R_T и R_P между токовыми и потенциальными электродами близки. В общем случае электроды размещаются в вершинах равнобедренной трапеции. Ранее подобная схема размещения электродов для измерений глубины трещин не исследовалась. В связи с этим была поставлена задача получения градуировочных характеристик при различных вариантах размещения электродов.

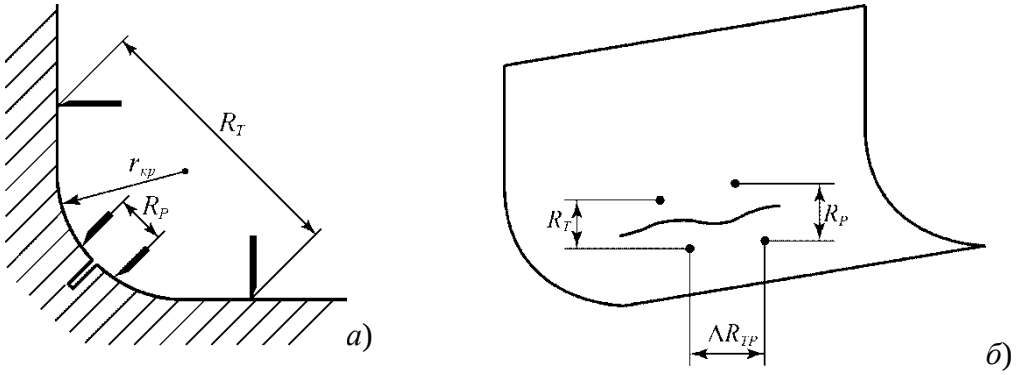
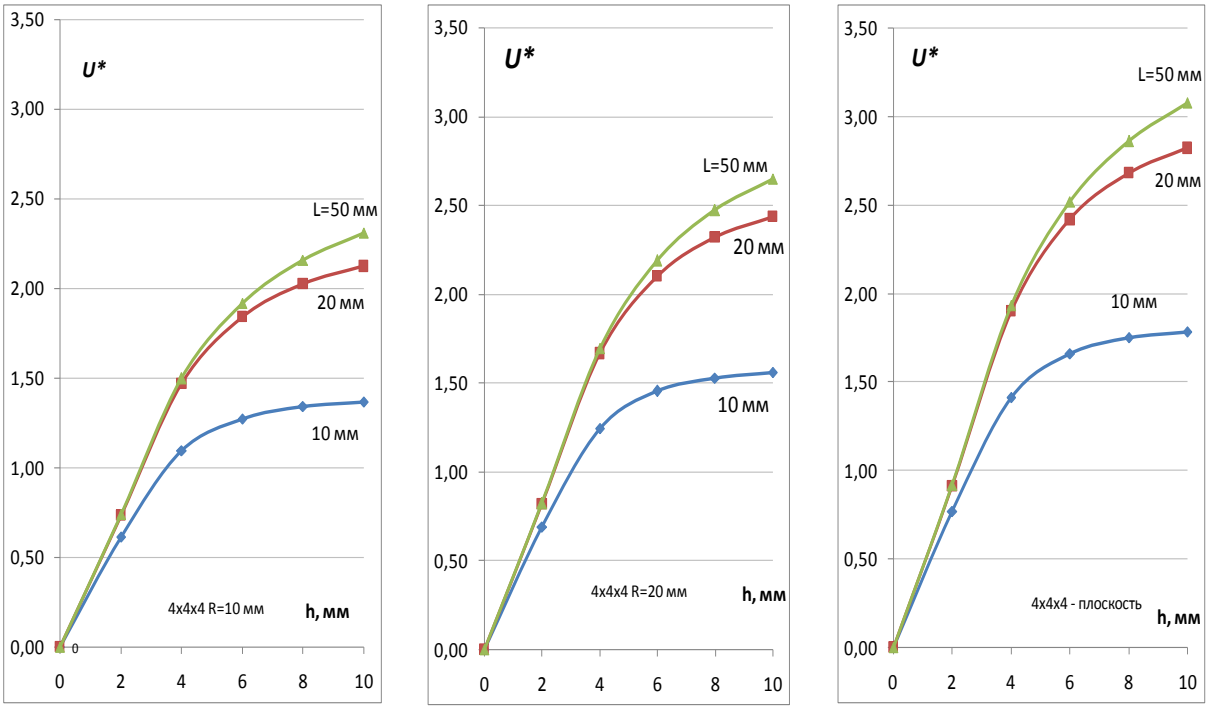


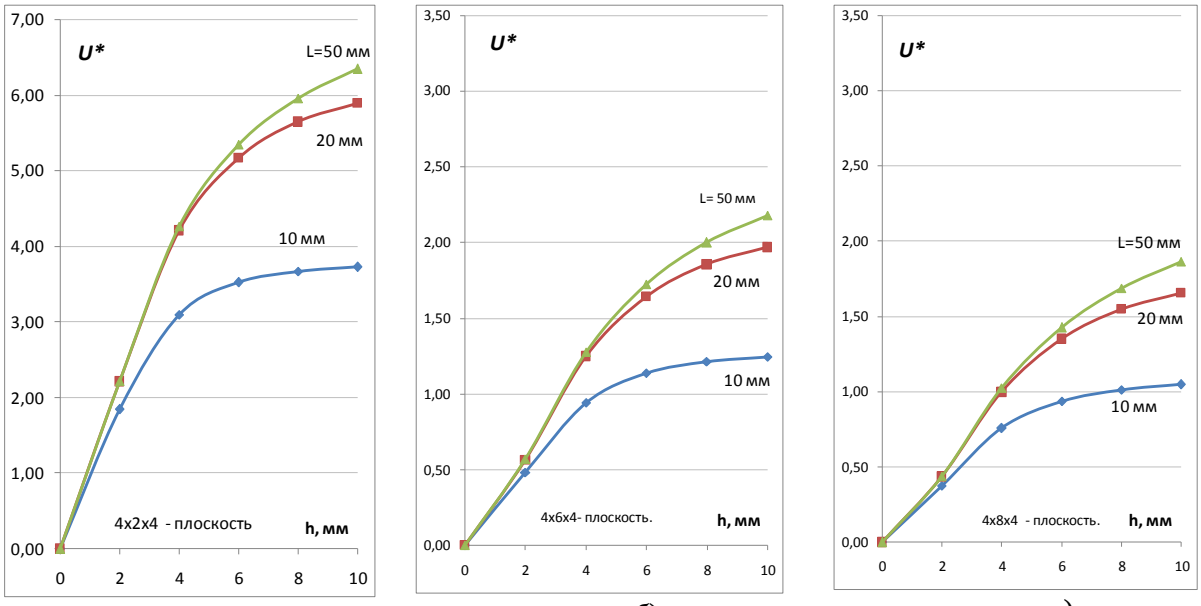
Рис. 1 - Расположение электродов при измерениях глубины трещин в галтельном переходе: а) – традиционным, б) – специализированным ЭПП

Исследования проводились методом конечных элементов на основе программного пакета ANSYS. Из конструктивных соображений и на основе предварительно выполненных экспериментов расстояния R_T, R_P и ΔR_{TP} варьировались в диапазоне от 2 до 8 мм. Результаты расчетов представлены на рис. 2-4. На рис. 2 показаны зависимость U^*от глубины h трещин разной длины ℓ при $R_T = R_P = \Delta R_{TP} = 4$ мм. Из приведенных графиков видно, что с увеличением кривизны поверхности наблюдается уменьшение вносимого трещиной относительного напряжения U^*. При переходе от плоской поверхности к галтели с радиусом $\boldsymbol{r}_{кр}$= 10 мм U^* уменьшается на 20%, а к галтели с $\boldsymbol{r}_{кр}$= 20 мм – на 12%. С целью оптимизации расчеты выполнялись для плоской поверхности. На рис. 3 показаны зависимости $\boldsymbol{U}^*$от глубины трещин разной длины на плоскости при $\boldsymbol{R_T}$ = 4 мм, $\Delta\boldsymbol{R_{TP}}$ = 4 мм и вариации $\boldsymbol{R_P}$. Видно, что с уменьшением $\boldsymbol{R_P}$ относительная чувствительность к глубине трещин растет. Однако при этом возрастает погрешность, связанная с неточностью установки потенциальных электродов и уменьшается абсолютная чувствительность.



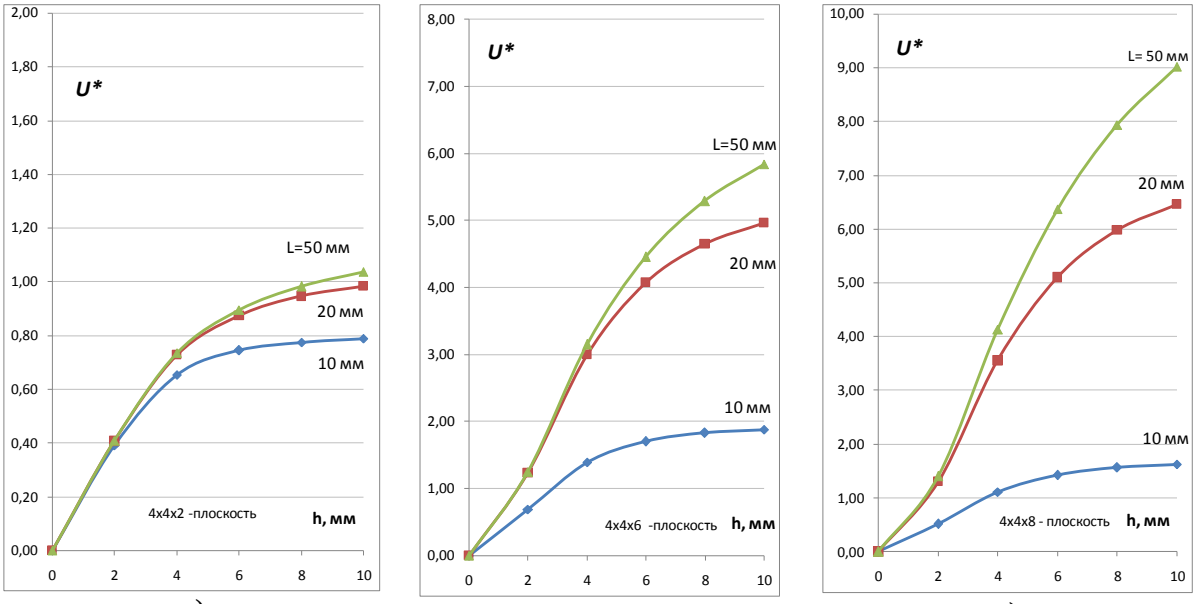
а) *б*) в)

Рис. 2. Зависимость *U**от глубины трещин разной длины при $\boldsymbol{R_T = R_P = \Delta R_{TP}}$ = 4 мм: *а)* – $\boldsymbol{r}_{кр}$= 10 мм, *б)* – $\boldsymbol{r}_{кр}$= 20 мм, *в)* – плоская поверхность



а) *б*) *в*)

Рис. 3 – Зависимость ***U****от ***h*** трещин разной длины на плоскости при $\boldsymbol{R_T}$ = 4 мм, $\boldsymbol{\Delta R_{TP}}$ = 4 мм и вариации $\boldsymbol{R_P}$: *а)* – $\boldsymbol{R_P}$=2 мм, *б)* – $\boldsymbol{R_P}$=6 мм, *в)* – $\boldsymbol{R_P}$=8 мм



а) *б*) *в*)

Рис. 4 – Зависимость ***U**** от глубины трещин разной длины на плоскости при R_T = 4 мм, R_P = 4 мм и вариации ΔR_{TP}: *а)*– ΔR_{TP}=2 мм, *б)* – ΔR_{TP}=6 мм, *в)* – ΔR_{TP}=8 мм

На рис. 4 приведены зависимость ***U**** от глубины трещин разной длины на плоскости при R_T = 4 мм, R_P = 4 мм и вариации ΔR_{TP}. Из них следует, что относительная чувствительность к глубине трещин растет по мере увеличения ΔR_{TP}. Вместе с тем и здесь увеличение ΔR_{TP} приводит к уменьшению абсолютной чувствительности к трещинам.

Полученные результаты позволили дать рекомендации по выбору типоразмеров ЭПП в соответствии с диапазоном измерения в зависимости от глубины и длины измеряемых трещин, а также провести интерпретацию результатов измерения с учетом кривизны поверхности в галтели.

В качестве базового был выбран электропотенциальный преобразователь с $R_T = R_P = \Delta R_{TP}$ = 4 мм для измерения трещин глубиной от 1 мм до 8 мм. Для измерения трещин глубиной от 5 мм до 20 мм целесообразно использовать ЭПП с $R_T = R_P$ = ***4 мм и*** ΔR_{TP} = 8 мм.

Список литературы

1. *Брайнин Э.И.* Контроль элементов электрических машин и аппаратов электропотенциальным методом.– М.: Энергия.– 1980.– 80 с.
2. *Шкатов П.Н.* Исследование погрешности измерения глубины трещин электропотенциальным методом//Тезисы докладов 14-ой российской НТК «Неразрушающий контроль и диагностика», М., 1996
3. *Shkatov P.N.* Increased preciseness of deep defects defecting through electropotential method// 7th European Conference on NDT, Copenhagen, 1998
4. *Шкатов П.Н.* Решение обратной задачи электропотенциальной дефектометрии для поверхностной трещины конечной длины// Тезисы докладов 3–ей международной НТК "Компьютерные методы и обратные задачи в неразрушающем контроле и диагностике".– М. 2002.
5. *Шкатов П.Н.* Компьютеризированный измеритель глубины трещин «ЗОНД ИГТ-98» // «Контроль. Диагностика» Машиностроение.- № 2, 1988.
6. *Шкатов П.Н., Елисов А.А.* Исследование влияния кривизны поверхности при измерении глубины поверхностных трещин электропотенциальным методом//Вестник МГУПИ.–2012.

05.02.07

А.М. Игнатова, С.В. Наумов, М.М. Каминский, В.Л. Попов,
Б.Ю. Антонов, М.Н. Игнатов, О.Ю. Шешуков

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

ПРОЕКТНО-ПЛАНИРОВОЧНОЕ РЕШЕНИЕ МОДУЛЯ ПО ПРОИЗВОДСТВУ ПЛАВЛЕНОГО СВАРОЧНОГО ФЛЮСА ИЗ ТЕХНОГЕННЫХ ОБРАЗОВАНИЙ КАМНЕЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

В статье проектно-планировочные решения для организации производства плавленых сварочных флюсов на базе сырья из техногенных образований горно-металлургических предприятий.

Ключевые слова: *Петургия, каменное литье, силикатный расплав, минеральное сырье, сварка, сварочные флюсы, рециклинг.*

Деятельность горно-металлургических предприятий (ГМП) сопряжена с образование большого количества техногенных образований. Так на известном петургическом предприятии, объем скопившихся техногенных образований на настоящий день составляет более 10 000 тн. Известны [1-5] проблемы рециклинга на металлургических и петургических производствах, а так же технологии решающие их, так, например, опыт украинских производственников и исследователей [6-8] указывает на возможность получения плавленых сварочных флюсов из техногенных образований металлургических предприятий. В настоящее время, в России плавленые сварочные флюсы производятся в объемах недостаточных для удовлетворения нужд внутреннего рынка, поэтому вопрос увеличения их производства за счет использования техногенных образований и/или минерального сырья, например, горно-металлургических предприятий (ГМП) Урала является актуальным [9].

В настоящей работе представлено проектно-планировочное решение модуля по производству плавленых сварочных флюсов из техногенных образований ГМП Урала применительно к действующему предприятию петургического направления.

Основное требование технического задания на выполнение данной работы – максимально использовать технические и технологические ресурсы предприятия для организации производственного модуля на изготовление плавленых сварочных флюсов для механизированной дуговой сварки и наплавки изделий широкой номенклатуры из низкоуглеродистых сталей обыкновенного качества.

Типовой технологический процесс изготовления плавленых сварочных флюсов включает в себя следующие основные этапы: контроль качества и складирование компонентов шихты; подготовка шихты (помол до одной фракции всех компонентов, их дозирование и перемешивание); загрузка шихты в печь; выплавка флюса; выпуск флюса из печи и его грануляция; сушка флюса; усреднение партии флюса; контроль качества партии флюса; упаковка флюса; отгрузка флюса потребителю [10,17].

В данной работе, в качестве техногенных образований ГМП, рассматривается горнблендит, как отход обогащения титаномагнетитовых руд Первоуральского месторождения - минеральное образование основного, малощелочного характера (образец 1), с подшихтовкой для обеспечения сварочно-технологических свойств флюсов (температура

плавления, вязкость, величина поверхностного натяжения) и при использовании метода его электродуговой переплавки и последующими этапами термической обработки, он может рассматриваться как уже готовое сырье для производства плавленых сварочных флюсов. Горнблендит уже подвергнутый петургической переработки и представляющий собой техногенное образование (образец 2) от петургического производства (каменное литье) рассматривается как сырье для метода дробления и оплавления в методической печи. Оксидный состав техногенных образований представлен в табл. 1.

Таблица 1

Оксидный состав петургических техногенных отходов [11]

Материал	SiO_2	MnO	CaO	MgO	Al_2O_3	Na_2O	K_2O	TiO_2	Fe_2O_3	P_2O_5	$S_{общ}$	CaF_2	Cr_2O_3
Образец 1	46,58	0,13	8,33	4,20	13,33	2,59	1,14	3,05	13,33	0,61	<0,03	2,01	-
Образец 2	48,56	0,22	8,33	3,71	12,44	2,37	1,23	4,42	8,55	0,47	<0,03	3,20	5,50

Рассматриваемые виды техногенного сырья вполне соответствует составу плавленого сварочного флюса АН-348А как аналога. Установленная схожесть позволяет утверждать, что техногенное сырье подходит для изготовления флюса даже лучше, чем традиционное минеральное, так как уже содержит в себе все необходимые компоненты и при этом представляет собой не механическую смесь порошков разных материалов, а монопорошок, в каждой частице которого содержатся все необходимые составляющие. Такая шихта не требует перемешивания и подшихтовки. Это обстоятельство позволяет нам рассматривать возможность адаптации типового технологического процесса в двух вариантах.

Первый вариант предполагает получение флюса, как и при традиционном способе методом плавления в печи и дальнейшем распылении, но без стадии длительной подготовки шихты, сырье не нужно дозировать и смешивать, необходимо только размолоть отходы до нужной фракции. Этот вариант предполагает, что предприятие может использовать, уже имеющееся оборудование для подготовки техногенных образований и их плавления, дополнительные организационные и финансовые затраты необходимы только для организации грануляции. Участок для организации производства сварочных флюсов на основе отходов петургии методом плавления и грануляции представлен на рис. 1. В качестве плавильного агрегата используется производственная электродуговая печь *1* [12] плавильного цеха основного производства, может использоваться и малотоннажная опытно-лабораторная печь [13] для проведения экспериментальных работ и изготовления ограниченных разовых партий. Для сушки флюса могут использоваться простые камерные печи *11,12* , так же имеющиеся в номенклатуре цеха. Техническая инфраструктура предполагает обязательное наличие бассейна для грануляции *2*, бассейна для нейтрализации воды *3*, вытяжной вентиляции *4*, печной подстанции *5*, участка ремонтных работ *10*, а так же помещений под закрома отстойники *6*, закрома для готовой продукции *7, 13* и закрома для шихтовых материалов *8, 9*. Для грануляции предполагается использовать оборудование [14]. Среди всех существующих установок для грануляции в рамках действующего предприятия наиболее рационально использовать припечные устройства, например, установка изображена на рис. 2 [15].

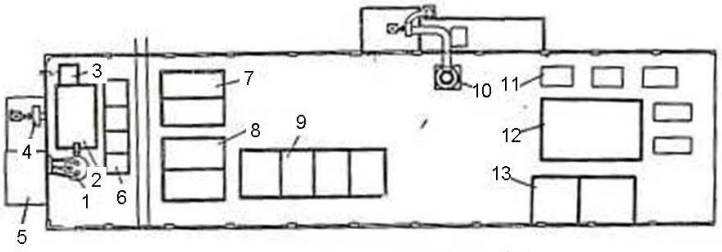


Рис. 1. План участка по изготовлению плавленого сварочного флюса на основе техногенных образований Первоуральского месторождения титаномагнетитовых руд методом петургической электродуговой переплавки с последующей грануляцией расплава

Расплав из электродуговой печи по желобу *6* стекает в дисспергатор *5*, состоящий из двух гидромониторов и лотка, где при механическом воздействии струй воды он раздрабливается и в виде трехфазной смеси (пара, воды и частиц расплава) поступает в бункер-отстойник *4*, заполненный водой. При погружении в воду частицы расплава охлаждаются и затвердевают, а образовавшийся при этом пар по трубе *7* естественной тягой выбрасывается в атмосферу. Вода, поступившая на грануляцию из бункера-отстойника после осветления переливается через стенку в камеру оборотной воды *2*, откуда забирается насосами *3* и подается в диспергатор на очередной цикл грануляции.

Для очистки образующегося при грануляции пара от сернистых соединений предусмотрена его промывка оборотной водой, подаваемой насосами *15* через два нижних яруса форсунок. Для более глубокой нейтрализации предусмотрена подача известкового раствора *11, 13* через форсунки верхнего яруса. Раствор готовится в специальной известковой системе, состоящей из последовательно соединенных приемного бункера извести, известегасилки, смесителя с насосами *15* и нагнетательных насосов *14*.

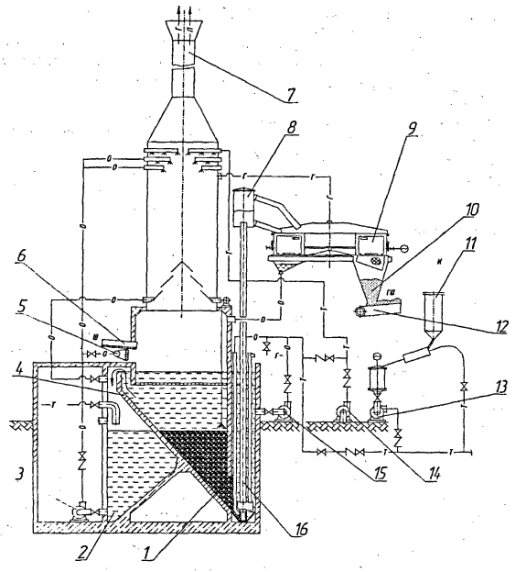


Рис. 2. Установка припечной грануляции модуля по производству плавленых сварочных флюсов из техногенных образований ГМП

Выгружаемый из обезвоживателя *9* гранулированный флюс *1* при температуре выше 90 °С имеет влажность около 10 %. Для дальнейшего снижения влажности шлака предусмотрена продувка его в бункере *10* холодным воздухом, подаваемым по трубе. Для обработки полученных гранул флюса предусмотрен сепаратор *8*, конвейер *12*, эрлифт *16*.

Второй вариант предполагает максимальное использование, того преимущества, что техногенное образование уже представляет собой моношихту. Мы предлагаем размолотый до определенной фракции (0,8-2,5 мм), с помощью мельниц имеющихся на предприятии, порошок шихты из техногенного образования насыпать тонким слоем на поддон и оплавлять его в методической печи, используемой предприятием для термообработки, таким образом, осуществить переход от осколочных частиц к гранулообразным. Этот вариант потребует от предприятия только организационных мер для своей реализации. Схема участка представлена на рис. 3. Предварительно перемолотые техногенные образования поступают в бункер, откуда при использование транспортного оборудования порошок перемещают к загрузочному окну туннельной нагревательной печи для термообработки отливок для оплавления осколочных частиц. Однако, режим ее работы должен быть скорректирован для изготовления флюса. Температура оплавления осколочных частиц составляет 850-900°С при этом скорость охлаждения должна быть высокой порядка 200°С/час, иначе может произойти спекание частиц порошка. После охлаждения частицы преобразованные в гранулы поступают на просев с помощью эксцентриковой решетки. Отсевы попадают на переплав, а годная отделенная гранулообразная фракция поступает на упаковку.

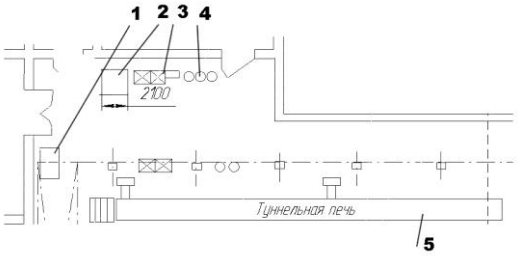


Рис. 3. Участок оплавления флюса: 1 - решетка эксцентриковая; 2 – пульт управления; 3-бункер под техногенные образования; 4-металлическая емкость для отсева; 5 – туннельная печь для нагрева и охлаждения.

Представленные варианты проектно-планировочных решений могут быть использованы не только для разных видов рециклинга техногенных образований, но и для организации производства плавленых сварочных флюсов различной производительности.

Оба метода являются экономически рентабельными для предприятия, позволят осуществлять выпуск годной продукции – плавленого сварочного флюса от 4000 до 12000 т/год. Реализация 5000-6000 т продукции в год позволит повысить доходы предприятия на 30-40%.

Таким образом, представлено проектно-планировочное решение модуля по производству плавленых сварочных флюсов из техногенных образований ГМП Урала применительно к действующему предприятию петургического направления. Продукция на основе техногенных образований обладает высокой равномерностью по химическому и фракционному составу [16], что обеспечивает их конкурентоспособность. Технология может быть реализована двумя способами, один из которых предполагает грануляцию расплава на основе шихты, а другой оплавление порошка из техногенных образований. Представленные проектно-планировочные решения максимально задействуют имеющиеся мощности предприятия.

Список литературы

1. *Степанова С.А.* Тенденции, проблемы и направления развития металлургического комплекса Российской Федерации // Электрометаллургия. 2001. № 1.С. 2-7.
2. *Лисин, В.С.* Ресурсо-экологические проблемы XXI века и металлургия/ В.С. Лисин, Ю.С. Юсфин. - М.: Высшая школа, 1998. - 447 с.
3. Природоохранные мероприятия в металлургии / В.Л. Советкин, Ю.Г. Ярошенко, С.В. Карелов, В.Г. Коберниченко, И.Ю. Ходоровская; Гос. образоват. учреждение высш. проф. образования «Урал. гос. техн. ун-т -УПИ». - Екатеринбург, 2004. - 240 с.
4. *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.
5. *Игнатова А.М., Чернов В.П.* Многотоннажная технология переработки металлургических шлаков и отходов горно-обогатительных комбинатов (ГОК) в литые силикатные материалы для различных сфер промышленности, промышленного, гражданского и дорожного строительства//Ползуновский альманах. -№ 3 т. 2, 2009. - с. 129-131.
6. *Кокорин, В.Н.* Анализ промышленного рециклинга твердых техногенных отходов предприятий черной металлургии// Экономика, экология и общество России в 21-мстолетии. С-Петербург. СП-б ТГУ2003.С.273-274.
7. Переработка шлаков и безотходная технология в металлургии /М. И. Панфилов [и др.]. - М.: Металлургия, 1987. - 238 с.
8. Вторичные материальные ресурсы чёрной металлургии: справочник. В 2 т. Т. 2. Шлаки, шламы, отходы обогащения железных и марганцевых руд, отходы коксохимической промышленности, железный купорос (образование и использование)/ В.Г. Барышников [и др.]. - М.: Экономика, 1986. - 344 с.
9. *Довгопол В.И.* Использование шлаков черной металлургии М.: Металлургия, 1978.-165с.
10. *Игнатова А.М., Шешуков О.Ю., Игнатов М.Н.* Рециклинг текущего доменного шлака с помощью литейного модуля на площадках цехов шлакопереработки металлургических комплексов// Научно-технический вестник Поволжья. - №1, 2013. – с. 46-54.
11. *Игнатова А.М., Шехирева А.М.* Сравнительная петрография природных материалов и синтетических минеральных сплавов каменного литья// Вестник Пермского университета. Геология. - 2011. № 4. - С. 20-31.
12. *Попов В.Л., Антонов Б.Ю., Игнатова А.М.* Эволюционное развитие и конструктивно-технологическая характеристика современной промышленной электродуговой печи для плавки петрургического сырья// Научно-технический вестник Поволжья. - 2013. № 1. - с. 240-244.
13. *Игнатова А.М., Попов В.Л., Антонов Б.Ю., Игнатов М.Н.* Конструктивно-технологическая характеристика опытно-промышленной малогабаритной дуговой печи для плавки петрургического сырья// Научно-технический вестник Поволжья. - №1, 2013. – с. 54-59.
14. Грануляция шлака у доменной печи объёмом 5000 м3 / М.А. Шаранов, Ф.Я. Ольгинский, В.А. Сацкий, Н.Г. Нетребко, Л.А. Зайнуллин, В.В. Свирин // Сталь. 1977. - № 8. - С. 692 - 695.
15. *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: ПГТУ, 2005.- 134 с.
16. *Игнатова А.М.* Современные методы определения фракционного состава сварочных порошковых материалов//Научно-технический вестник Поволжья. - 2012. № 3. - с. 129-132.
17. *Наумов С.В., Канина А.Е., Игнатова А.М., Игнатов М.Н.* О фракционном составе сварочных флюсов//Научно-технический вестник Поволжья. - 2012. № 2. - с. 125-167.

05.11.16

Б.В. Казбеков

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),
факультет «Системы управления, информатика и электроэнергетика»,
кафедра «Информационные технологии»,
Москва, kazbekovbv@gmail.com

РАСПОЗНАВАНИЕ ПОДВИЖНЫХ НАЗЕМНЫХ ОБЪЕКТОВ С БОРТА БЛА

В статье представлены результаты решения задачи распознавания подвижных наземных объектов с борта БЛА. Описаны существующие подходы и методы распознавания. Обоснована необходимость разработки нового алгоритма, вызванная спецификой решаемой задачи. Описан разработанный алгоритм.

Ключевые слова: *идентификация объектов, распознавание объектов, морфологическая обработка изображений, маска движения.*

Вопросам распознавания изображений и объектов, находящихся на них, посвящено достаточно много работ, и данная область привлекает внимание многих исследователей и разработчиков уже более полувека, но до сих пор задача распознавания далека от полного решения. Существует достаточно большое количество частных методов и алгоритмов, позволяющих решать те или иные задачи распознавания. Их объединяют общие принципы и подходы по предобработке изображений и различают последующие операции, выполняемые в зависимости от содержимого изображений и конкретных задач распознавания.

Под распознаванием принято понимать выделение необходимой интересуемой информации из изображения, это может быть определение рельефа местности, поиск определенного объекта на самом изображении: люди, автомобили, различные предметы, дорожные знаки и прочее, определение расстояний между объектами или траекторий их движения.

Необходимость разработки новых или модификации существующих методов и алгоритмов возникает при решении общей задачи распознавания из-за того, что алгоритмы, хорошо работающие в определенных условиях, неэффективны или совершенно непригодны при других. Это вызвано большой информационной емкостью и априорной неопределенностью, свойственной изображениям, а также большой изменчивостью изображений (изменение ракурса съемки или интенсивности освещения влечет за собой изменение значений одновременно во всех элементах изображения).

Одной из наиболее сложных задач распознавания является задача по выявлению объектов, находящихся на изображении. Если заранее известно, что именно является объектом интереса и заданы его описания (изображения с разных ракурсов съемки, заданы геометрические размеры и другие параметры объекта), то задача распознавания называется частной и сводится к задаче сопоставления имеющихся описаний с поступающими данными и в случае совпадения, объект считается распознанным [1]. Но в действительности, априорно не известно, какой именно объект может присутствовать на изображении, а известен возможный класс объектов: самолеты, легковые или грузовые автомобили, военная техника и т.д. Такие задачи принято называть общими задачами распознавания и их можно сформулировать следующим образом: необходимо распознать объект, с точностью до класса, т.е. отнести рассматриваемый объект к одному из перечисленных классов или сделать вывод о том, что данный объект не принадлежит ни к одному из них.

Решение задачи идентификации подвижных наземных целей по анализу видеопотока формируемого бортовой камерой БЛА подразумевает распознавание найденных подвижных объектов, т.е. определение класса объекта. Так как заранее не известно, какой именно объект

может попасть в поле зрения камеры, то поставленная задача относится к общим задачам распознавания.

Самым эффективным и простым на сегодняшний день методом решения таких задач является сопоставление рассматриваемого изображения с некоторым набором эталонов, т.е. графической базой данных. Такая база содержит в себе все возможные варианты изображений (эталонов) тех или иных объектов интереса, принадлежащих к определенным классам, и задача сводится к определению класса объекта и возможному распознаванию конкретно самого объекта. При таком подходе выполняется достаточно большое количество операции сравнения двух изображений, а конечный результат процедуры распознавания зависит от качества сопоставления на каждой итерации. К сожалению, эффективность работы существующих алгоритмов не позволяет использовать их при решении поставленной задачи.

При решении задачи идентификации подвижных наземных объектов с борта БЛА по анализу видеопотока, поступающего с бортовой камеры, был разработан комплексный метод определения подвижных объектов, находящихся в поле зрения камеры. Описание данного метода было изложено ранее [2]. На данном этапе, а именно при распознавании подвижного наземного объекта, необходимо сопоставить полученное изображение подвижного наземного объекта с базой эталонов. В качестве метода сопоставления был выбран признаковый метод [3] – классификатор по минимуму расстояния.

Результаты экспериментов показали, что лишь в 15,7% случаев был верно установлен класс найденного объекта, безусловно, такой показатель является неприемлемым. Основной причиной такой низкой эффективности работы алгоритма является некорректные данные, подаваемые к обработке. Стоит напомнить, что маска движения по своей сути представляет собой двоичное изображение, т.е. изображение, содержащие только 0 и 1, соответствующие белому и черному цвету. Выделенный от подвижных объектов сигнал кодируется единицами, таким образом, на изображении «выделяются» те области, в которых происходит движение (Рис. 1), но зачастую объект, «смазан» или найденный сигнал не является сигналом подвижного объекта, а идентифицирован как подвижный объект ошибочно.

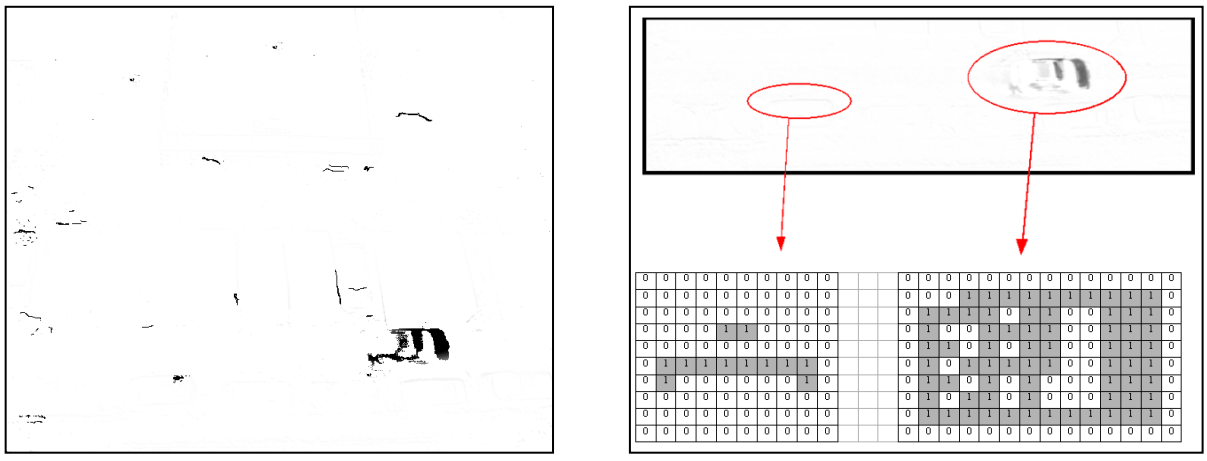


Рис. 1 – Маска движения (слева), ее двоичное представление (справа)

В связи с этим, на этапе анализа маски движения, необходимо не просто выделить сигнал, принадлежащий подвижному объекту, но и определить основные его характеристики. Речь идет о том, что необходимо восстановить форму и контуры найденного объекта для дальнейшей обработки. Поэтому необходимо разработать алгоритм предварительной обработки анализируемого изображения объекта, применение которого позволило бы использовать существующие методы сопоставления.

На сегодняшний день существует достаточно большое количество операций, позволяющих извлекать некоторые компоненты изображения, полезные для его дальнейшего представления и описания [4], такие как выделение границ и контуров, сегментирование,

выявление остова и т.д. В работе использованы методы математической морфологии, суть которых извлечение некоторых атрибутов, описывающих изображение, т.е. извлечение его «смысла». Основным преимуществом морфологического подхода является непосредственная работа с полученным изображением маски движения без необходимости его перевода в полутоновое, а затем обратно в двоичное, путем наложения пороговой функции. Это позволяет сократить количество выполняемых операций, что существенно для вычислительных алгоритмов бортовой системы.

В ходе исследований был разработан алгоритм, позволяющий существенно повысить эффективность операции сопоставления рассматриваемого объекта с базой эталонов (до 85,3%), за счет коррекции маски движения. Данный результат был получен благодаря последовательному выполнению следующих морфологических операций: дилатация, замыкание, заполнение области и выделение связной компоненты [5].

Пусть A, B – множества в двумерном целочисленном пространстве, тогда операция дилатации может быть определена следующим образом:

$$A \oplus B = \left\{ z \middle| \left(\hat{B}\right)_z \cap A \neq O \right\},$$

где $z\left|\left(\hat{B}\right)_z\right.$ – операция центрального отражения множества B относительно начала координат, сдвинутое в точку z. Дилатация представляет собой метод «расширения» границы множества A, таким образом устраняются незначительные разрывы линий путем их перекрытия.

Операция замыкания может быть определена как:

$$A \bullet B = (A \oplus B) \Theta B,$$

где Θ – эрозия (множество всех таких точек z, при сдвиге в которые множество B целиком содержится в A). В результате этой операции сглаживаются контуры, заполняются узкие разрывы, углубления и небольшие отверстия.

Заполнение области и выделение связной компоненты определяются схожими выражениями:

$$X_k = (X_{k-1} \oplus B) \cap A^c \quad (1)$$

$$X_k = (X_{k-1} \oplus B) \cap A \quad (2)$$

$$X_0 = p \text{ и } k = 1, 2, 3, \ldots$$

где A^c – множество элементов, не содержащихся в A. Заполнение области множества A, начиная с заданной внутренней точки p этой области, определяется выражением (1). Нахождение связной компоненты в множестве A, начиная с заданной точки p внутри этого множества, определяется выражением (2). Данные операции останавливаются на k-ом шаге итерации, когда $X_k = X_{k-1}$.

В заключении стоит отметить, что приведенная последовательность действий позволяет частично восстановить потерянные данные в результате процесса формирования маски движения без детального анализа исходного изображения объекта. Это позволяет использовать данный алгоритм в системах, работающих в режиме реального времени.

Список литературы

1. *Hörster E., Lienhart R., Slaney M*. Proc. 6th ACM int. conf. on Image and Video Retrieval, Canada, 2007, pp. 17–24.

2. *Казбеков Б.В.* Тезисы докладов, 11-ая Международная конференция «Авиация и космонавтика - 2012», СПб.: Мастерская печати, 2012, с. 266-267.

3. *Lowe D.* Object recognition from local scale-invariant features, Proc. Int. Conf. on Computer Vision. 1999, pp. 1150–1157.

4. *Lindeberg T.* Edge detection and ridge detection with automatic scale selection, Int. J. of Computer Vision. 1998, V. 30, pp. 117–156.

5. *Р. Гонсалес. Р. Вудс* Цифровая обработка изображений, Москва: Техносфера, 2006, с. 747-788.

05.05.04

Н.Н. Карнаухов д.т.н., А.В. Яркин к.т.н., А.Р. Крук, Ф.Д. Шараев

Тюменский Государственный Нефтегазовый университет,
Кафедра «Транспортные и технологические системы»,
г. Тюмень, tts@tsogu.ru, ayarkin@yandex.com, rtrks@rambler.ru

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЭЛЕКТРОПРОГРЕВА ГИДРОПРИВОДА В ЗИМНИЙ ПЕРИОД

Статья посвящена проблеме эксплуатации гидравлической машины в холодных климатических условиях. Рассмотрены трудности при подготовке гидропривода к работе, предложена конструкция устройства для предпускового электроподогрева элементов гидропривода. Предложена методика расчета системы для предпусковой тепловой подготовки гидропривода, позволяющая оценить эффективность использования предложенной конструкции.

Значение строительного комплекса для экономики любой страны трудно переоценить, а в России, с ее огромными пространствами, суровыми природно-климатическими условиями и неразвитой инфраструктурой его роль возрастает многократно. Масштабное строительство невозможно без организации эффективной эксплуатации строительной техники и автотранспорта. При этом новые месторождения полезных ископаемых постоянно смещаются на Север, Северо-восток страны, т.е. в районы с экстремально низкими температурами воздуха и продолжительным зимним периодом в году.[1]

Эксплуатация транспортно-технологических машин в холодных климатических условиях сопряжена с рядом отрицательных факторов, основным из которых является низкая температура окружающего воздуха.

Низкая температура окружающего воздуха вызывает необходимость проведения предпусковой тепловой подготовки двигателя и гидропривода строительной машины, при этом, можно утверждать, что проблема запуска двигателя машины при низких отрицательных температурах решена в значительной степени, чего нельзя сказать о предпусковой подготовке гидропривода.

На кафедре «Транспортные и технологические системы» ТюмГНГУ проведено исследование, направленное на выявление проблем современных гидравлических экскаваторов при эксплуатации в период низких температур. [2, 3]

Исследование показало, что, несмотря на развитие машиностроительной индустрии, при эксплуатации современной строительной техники в зимний период возникает ряд проблем. Так для запуска и подготовки гидравлической системы экскаватора к работе при минус 30ºС необходимо затратить до 50 минут времени рабочей смены.

Ранние научные разработки на тему, в большинстве своем, направлены на поддержание оптимальной температуры рабочей жидкости в баке гидравлической системы строительной машины, при этом они не обеспечивают непосредственный прогрев и поддержание температуры гидроцилиндров, которые являются гидрообъемной частью гидросистемы и не имеют постоянной циркуляции жидкости. Поэтому, актуальными являются исследования, направленные на поддержание оптимальной рабочей температуры жидкости как в гидробаке, так и непосредственно в гидроцилиндрах в процессе работы машины и во время ее межсменной стоянки.

Исходя из вышесказанного была предложена конструкция нагревательного устройства объемного гидропривода состоящая из основы, которая выполнена из теплоизоляционного материала, внутри которой уложен электронагревательный элемент. В общем виде конструкция представляет собой легкосъемный чехол, полотно облегающий и фиксирующийся на гидроцилиндре, что обеспечивает простоту его монтажа и демонтажа

(рис. 1). Электрический нагревательный элемент прилегает непосредственно к поверхности гидроцилиндра и закрыт сверху для уменьшения отдачи тепла в окружающую среду теплоизоляционным материалом. Питание электронагревателя осуществляется через сетевой кабель. Теплоизоляция покрыта снаружи плотным влаго- и грязезащитным чехлом для защиты устройства от механических повреждений и проникновения внутрь влаги.

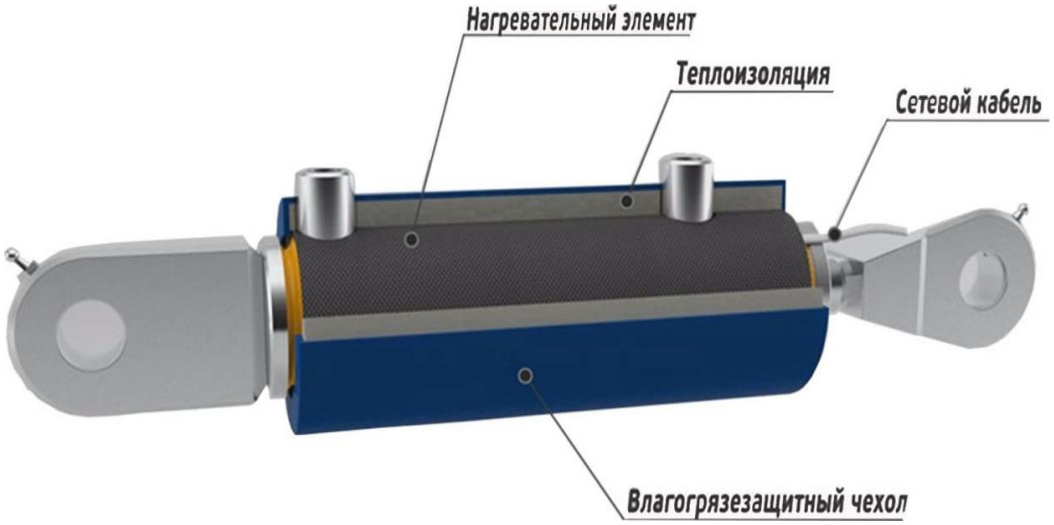


Рис. 1. Общий вид конструкции

В качестве электрических нагревателей в ходе экспериментов были опробованы саморегулирующийся нагревательный кабель ленточного типа с питанием от стационарной сети переменного тока 220В, а также нагревательное углеродное волокно с питанием от штатной сети постоянного тока с напряжением 12В и 24В. Проведенные эксперименты подтвердили целесообразность использования предложенного способа предпускового электроразогрева элементов гидропривода транспортно-технологических машины в условиях низких температур окружающего воздуха. Расчет отклонений результатов эксперимента от теоретических зависимостей и проверка адекватности полученных результатов экспериментов показали их соответствие предложенным математическим моделям.

Таким образом для эффективной работы гидравлического экскаватора в условиях низких температур необходимо обеспечить поддержание температуры рабочей жидкости в гидроприводе в пределах +10…70°С во время работы машины и в период межсменной стоянки.

На основе проведенных исследований [2, 3], авторами предложена методика расчета системы для предпусковой тепловой подготовки гидропривода за счет электрического нагрева в зависимости от конструкции, режимов и условий работы машины (рис. 2).

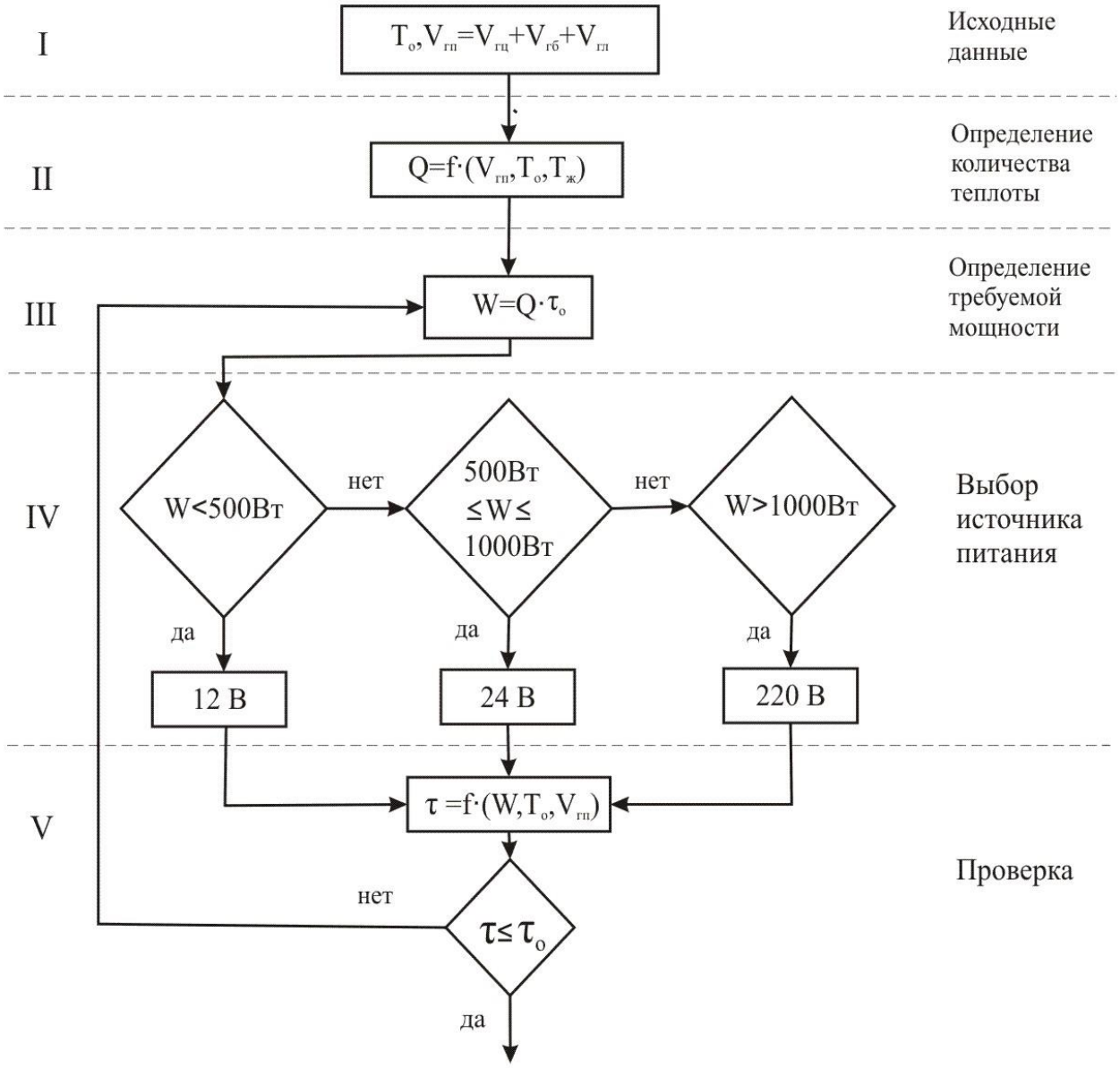


Рис.2. Блок-схема последовательности расчета системы для предпусковой тепловой подготовки гидропривода за счет электрического нагрева

На первоначальном этапе (I) задаются необходимые для расчета исходные данные.

Далее (этап II) определяется общее количество теплоты, необходимое для прогрева масла в гидросистеме от начальной температуры до +10°С.

Затем (этап III) определяется мощность источника, необходимая на нагрев масла в элементах гидропривода при заданных исходных температурах и времени, отведенном на подготовку гидропривода машины.

В зависимости от полученных значений, на следующем этапе (IV) производится выбор источника питания, требуемого для обеспечения эффективного прогрева масла в элементах гидросистемы машины. Для мощности не превышающей 500 Вт питание нагревателей может осуществляться от штатного аккумулятора машины с постоянным током 12В или 24В. При мощности нагревателей в пределах 500…1000 Вт рекомендуется использовать дополнительный источник электроэнергии постоянного тока напряжением 24В (например, два аккумулятора 12В 190А·ч. При требуемой мощности нагревателей свыше 1000Вт целесообразно использовать в качестве источника питания стационарную сеть переменного тока с напряжением 220В или генератор переменного тока.

На следующем этапе (V) производится проверка результатов расчета и выбранного источника питания. Для этого, с использованием полученных в результате исследования эмпирической математической модели, рассчитывается время, необходимое для нагрева масла в гидроприводе.

Если для полученного значения времени условие $\tau \geq \tau 0$ не соблюдается, то расчет производиться повторно, начиная с этапа III, при этом возможны изменения и корректировка исходных данных.

Представленная методика позволяет быстро произвести первоначальную оценку целесообразности использования электроподогрева для гидропривода конкретной машины и определить возможный источник питания для работы нагревателей. При этом нет необходимости производить сложные теплотехнические расчеты, что не требует глубоких знаний в данной области от инженера-проектировщика специальных машин.

На основе проведенных исследований предложены принципиальные схемы двух различных устройств для локальной тепловой подготовки объемного гидропривода строительной машины, использующие в своей конструкции различные виды электрических нагревателей для работы от стационарной сети переменного тока или для автономного питания от бортового аккумулятора машины.

Рассчитан, сконструирован, изготовлен и представлен на международной выставке опытный образец нагревательного чехла «ТЕРМОСТАРТ – 01» для прогрева гидроцилиндров. По результатам выставки отмечен интерес к разработке со стороны компаний, эксплуатирующих специальную гидравлическую технику в северных районах Тюменской области. Установлены контакты с представителями заинтересованных фирм, намечены дальнейшие натурные испытания и доработка образца.

Список литературы

1. *Анисимов И.А., Резник Л.Г.* Оценка совместного влияния факторов условий эксплуатации на автомобиль с точки зрения теории суровости. - Вестник оренбургского государственного университета №6 ч.2. Оренбург. ОГУ. 2006 Г. 451-455 с.

2. *Карнаухов Н.Н., Мерданов Ш.М., Шефер В.В., Ивавнов А.А.* Эксплуатация подъемно-транспортных, строительных и дорожных машин [Строительные машины] учебник – Тюмень: ТюмГНГУ, 2012 -456с.

3. *Мерданов Ш.М., Яркин А.В., Шараев Ф.Д., Кушнир С.Я.* Локальный прогрев элементов гидропривода строительной машины в зимний период. Научно-практический журнал «Наука и бизнес: пути развития». / Москва. – 2012. - № 7. С. 76 – 79.

4. *Мерданов Ш.М., Яркин А.В., Шараев Ф.Д., Шуваев А.Н.* Обеспечение работы гидропривода строительной машины в условиях низких температур окружающей среды. Научно-технический вестник Поволжья. № 4 2012г. – Казань: Научно-технический вестник Поволжья, 2012. – 143-146 с.

05.13.06

Ю.П. Кирин, С.Л. Краев

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Березниковский филиал,
г.Березники, klu2010@mail.ru

ИДЕНТИФИКАЦИЯ СИТУАЦИЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВА ГУБЧАТОГО ТИТАНА

В статье изложена методология построения систем идентификации ситуаций функционирования процессов восстановления и вакуумной сепарации губчатого титана в условиях неполной априорной информации о состоянии процессов. Рассмотрены особенности идентификации ситуаций функционирования в позиционных системах управления температурным режимом процессов.

Ключевые слова: *технологические процессы, ситуации функционирования, идентификация, позиционные системы управления, процессы восстановления и вакуумной сепарации губчатого титана.*

Современный подход к синтезу систем управления в условиях неопределенности предусматривает определение ситуаций функционирования (СФ) технологических процессов. При этом в процессе работы автоматической системы возникает необходимость идентификации СФ в текущий момент времени путем извлечения информации из наблюдений за измеряемыми выходными координатами технологических процессов в условиях размытости границ перехода от одних СФ к другим. Результаты идентификации СФ используются для совершенствования управления технологическими процессами. Проблема идентификации СФ технологических процессов занимает одно из центральных мест при разработке систем управления. Каких-либо универсальных методов решения данной проблемы не предложено. В общем случае для получения информации о СФ в систему управления вводится дополнительная измерительная подсистема, в состав которой входят измерители и индикаторы, учитывающие СФ технологических процессов[1].

Такой подход существенно усложняет структуру системы управления, повышает затраты на ее разработку, внедрение и эксплуатацию.

Поэтому большой интерес представляет построение системы идентификации СФ технологических процессов с помощью существующих систем информационного обеспечения и управления, то есть без дополнительных затрат. Один из таких подходов состоит в извлечении информации о СФ из динамики позиционного управления технологическими процессами.

Задачи идентификации СФ технологических процессов актуальны для производства губчатого титана. Процессы восстановления тетрахлорида титана магнием и последующей вакуумной сепарацией составляют основу промышленного производства губчатого титана. Процессы проводят в аппаратах восстановления и вакуумной сепарации периодического действия. При существующем аппаратурном оформлении процессов восстановления и сепарации исполнительными механизмами служат релейные элементы (контакторы, пускатели, клапаны, дозаторы) с двумя рабочими положениями включено-выключено. Это обстоятельство предопределило позиционный принцип управления технологическими процессами. Автоматизация осуществлена на базе нелинейных систем управления, в которых заданные значения координат технологических процессов поддерживают позиционные регуляторы.

Особенность организации промышленного производства губчатого титана предполагает знание СФ процессов восстановления и вакуумной сепарации: лимитирующих стадий процесса восстановления; положения зоны экзотермической реакции по высоте аппарата восстановления (АВ); условий передачи тепла из зоны экзотермической реакции в зоны нагрева АВ; стадий и момента окончания процесса вакуумной сепарации; режима охлаждения конденсатора аппарата сепарации (АС) [2].

Определение СФ технологических процессов и принятие оперативных управленческих решений в реальном времени действующего производства осуществляет технолог – лицо, принимающее решение (ЛПР), используя свои знания, опыт, интуицию. Повышение эффективности действий ЛПР может быть достигнуто за счет информационной поддержки управления процессами восстановления и вакуумной сепарации путем разработки системы идентификации СФ процессов производства губчатого титана[3].

Рассмотрим методологию построения системы идентификации СФ в позиционных системах управления температурой процессов восстановления и вакуумной сепарации губчатого титана[4].

Управление процессами восстановления и сепарации состоит из ряда типовых нестационарных нелинейных (позиционных) систем регулирования технологических параметров.

Каждая из таких систем регулирования состоит из обобщенного нестационарного объекта управления (ОНОУ), на входе которого действует неконтролируемое возмущение $z(t)$, и многоканального двухпозиционного регулятора (МДР) (рис. 1).

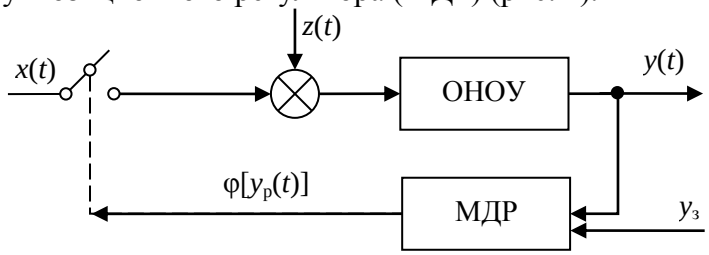


Рис.1. Типовая структурная схема позиционного регулирования температуры процесса восстановления (сепарации)

Под ОНОУ подразумевают зону нагрева, зону реакции АВ или зону нагрева АС; под $z(t)$ – изменение тепловых потерь зоны нагрева, изменение тепла зоны экзотермической реакции АВ, изменение потребляемого тепла зоны нагрева АС. МДР изменением регулирующего воздействия $\varphi[y(t)]$ – включением/выключением входной величины $x(t)$ (мощности нагрева зоны или мощности охлаждения зоны реакции) поддерживает выходную величину $y(t)$ (температуру) ОНОУ на заданном уровне $y_з$.

Таким образом, при включении $x(t)$ на входе ОНОУ действует разность $x(t)-z(t)$, при выключении $x(t)$ поведение ОНОУ определяется возмущающим воздействием $z(t)$. Система регулирования при этом работает в режиме автоколебаний.

Сущность предлагаемого метода идентификации СФ процессов производства губчатого титана заключается в следующем.

Все возможные изменения возмущающих воздействий $z(t)$ образуют СФ процессов восстановления и вакуумной сепарации. Изменение $z(t)$ накладывает своеобразный отпечаток на динамику позиционного управления технологическими процессами, которая характеризуется автоколебаниями сложной формы с переменными параметрами. При этом параметры автоколебаний температуры используются в качестве идентификационных признаков для определения СФ процессов восстановления и вакуумной сепарации. Таким образом, задача идентификации СФ процессов производства губчатого титана сводится к

измерению и анализу параметров автоколебаний температуры в позиционной системе управления.

Система идентификации встраивается непосредственно в контур позиционного управления технологическими процессами. Для этого необходимо представленную на рис.1 структурную схему дополнить СФ устройством измерения параметров автоколебаний (УИПА) и оценивающим устройством – идентификатором СФ (ИДСФ) с заложенными в него алгоритмами идентификации СФ технологических процессов (рис. 2). УИПА в процессе функционирования ОНОУ измеряет на его входе и выходе значения параметров автоколебаний – времени включения и выключения $x(t)$, амплитуд положительного и отрицательного отклонений температуры от $y_з$. ИДСФ, используя результаты измерений параметров автоколебаний температуры, определяет текущие СФ процессов восстановления и вакуумной сепарации.

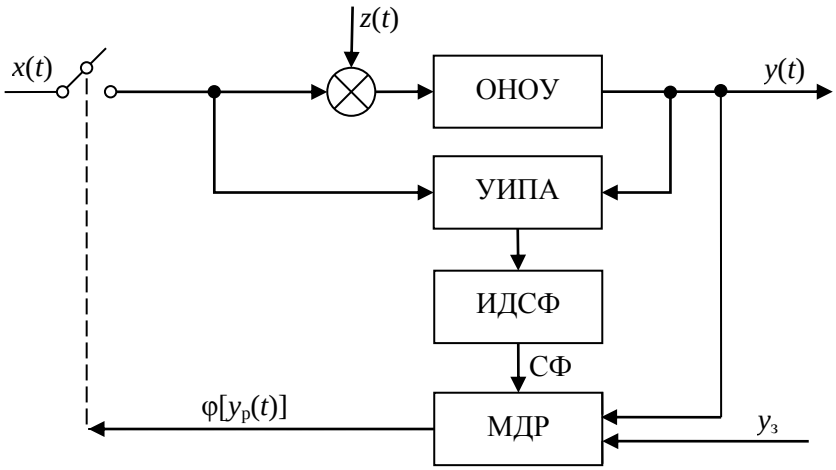


Рис.2. Структурная схема идентификации СФ процесса восстановления (сепарации) в позиционной системе регулирования

Основу современных систем автоматизации производства губчатого титана составляют АРМ операторов процесса восстановления и вакуумной сепарации, построенные на базе программируемых логических контроллеров и компьютеров. Здесь функции УИПА, ИДСФ и МДР выполняют программируемые логические контроллеры, то есть система идентификации СФ реализуется без дополнительных измерительных подсистем в составе существующих АРМ и используется в системах ситуационного управления процессами восстановления и вакуумной сепарации для поддержки принимаемых ЛПР управленческих решений. В результате внедрения систем ситуационного управления снижены энергозатраты на проведение процессов[5].

Основной недостаток позиционных систем – низкое качество регулирования температуры процессов восстановления и вакуумной сепарации. Это обстоятельство снижает технологические показатели процессов. Поэтому к позиционным системам предъявляют повышенные требования к качеству регулирования температурного режима технологических процессов.

В производстве губчатого титана используется другой класс систем автоматизации – импульсные позиционные системы регулирования температуры процессов восстановления и вакуумной сепарации[6].

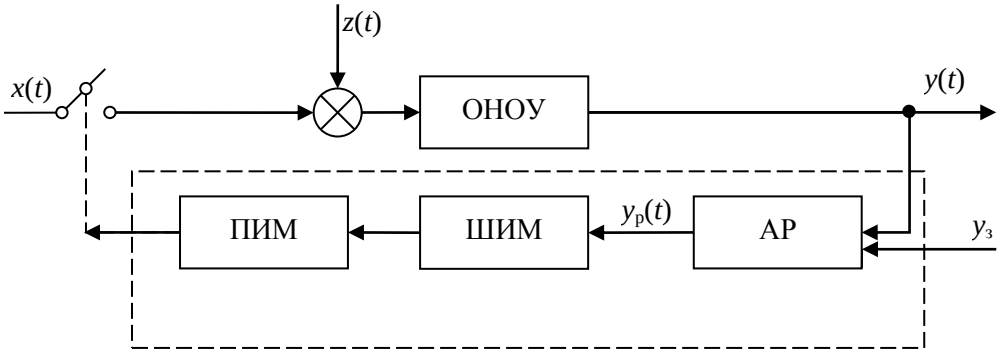


Рис.3 Типовая структурная схема импульсного позиционного регулирования температуры процесса восстановления (сепарации)

Структурная схема такой системы регулирования представлена на рис. 3. Выходная величина $y(t)$ ОНОУ поддерживается на заданном уровне $y_з$ импульсным регулятором (ИР), состоящим из аналогового регулятора (АР), широтно-импульсного модулятора (ШИМ) и позиционного исполнительного механизма (ПИМ). АР преобразует ошибку регулирования $\varepsilon(t) = y_З - y(t)$ в выходную величину регулятора $y_p(t)$ в соответствии с ПИ или ПИД-алгоритмом. ШИМ формирует последовательность импульсов с постоянным периодом повторения и длительностью, меняющейся пропорционально $y_p(t)$. Таким образом, ШИМ, воздействуя на ПИМ, изменяет скважность включения $x(t)$ пропорционально $y_p(t)$, обеспечивая тем самым поддержание заданного значения $y_з$ регулируемой величины $y(t)$ с точностью $\pm 2^0$C. Высокое качество регулирования температуры обеспечивается за счет оптимальных настроечных параметров АР и ШИМ.

Особенность функционирования импульсной позиционной системы состоит в том, что при изменении возмущающего воздействия $z(t)$ изменяются регулирующие воздействия ИР:

- величина $y_p(t)$ на выходе АР;
- длительность импульсов на выходе ШИМ;
- скважность импульсов на выходе ШИМ.

Изменение регулирующих воздействий ИР используется в качестве идентификационных признаков для определения СФ процессов производства губчатого титана.

С учетом этой информации систему идентификации СФ процессов восстановления и вакуумной сепарации можно представить в следующем виде (рис.4). Регулирующие воздействия измеряются с помощью устройства измерения регулирующих воздействий (УИРВ). Результаты измерений поступают в ИДСФ, где определяются текущие СФ технологических процессов.

Рассмотренная на рис.4 структура системы идентификации реализована в программируемом логическом контроллере в составе АРМ оператора отделения вакуумной сепарации губчатого титана. Информация о СФ вакуумной сепарации (стадиях вакуумной сепарации) отображается на мониторе компьютера в виде трендов регулирующих воздействий ИР, которые используются для информационной поддержки принимаемых ЛПР управленческих решений при определении длительности и момента окончания процесса[7].

Применение импульсной позиционной системы управления позволило решить следующие задачи:

- повысить качество регулирования температуры процесса сепарации;
- идентифицировать СФ процесса сепарации без дополнительных измерительных подсистем;
- более точно определить стадии и момент окончания процесса.

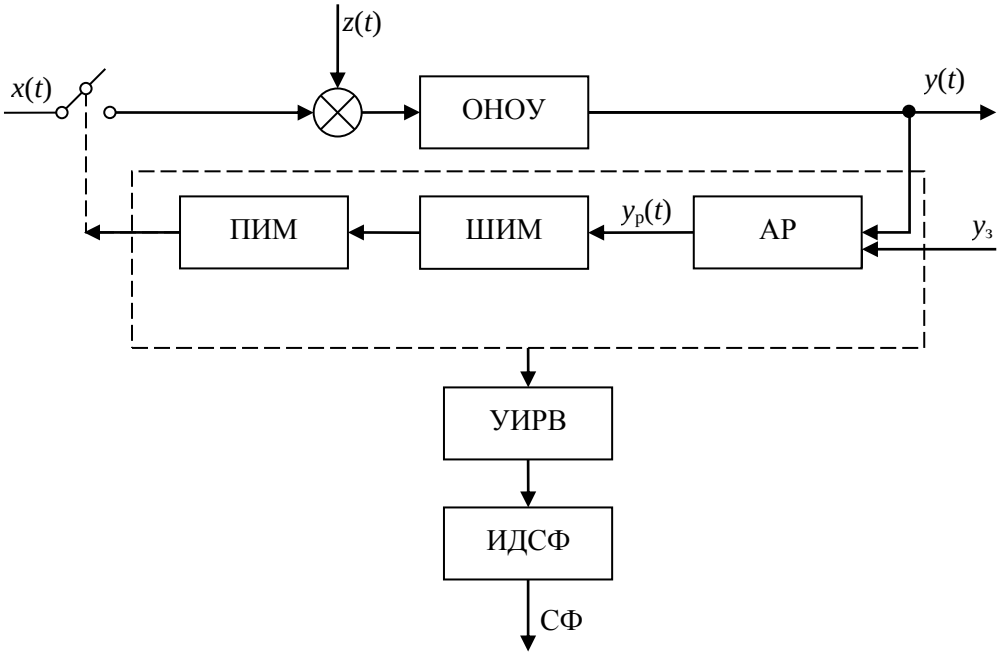


Рис.4 Структурная схема идентификации СФ процесса восстановления (сепарации) в импульсной позиционной системе регулирования

В результате промышленного внедрения импульсной системы управления повысилась производительность процесса сепарации и снижены энергозатраты.

Предложенные подходы к идентификации СФ процессов производства губчатого титана существенно упрощают структуру систем управления, согласуются с принципом полного использования информации в оптимальных системах[8] и могут быть применены для идентификации СФ технологических процессов в различных отраслях промышленности.

Список литературы

1. *Сергин М.Ю.* Современное состояние и возможные пути решения проблем построения систем управления технологическими процессами // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2004. – № 1. – С. 2-8.

2. *Тарасов А.В.* Металлургия титана. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2003. – 328 с.

3. *Кирин Ю.П.* Информационная поддержка управления технологическими процессами производства губчатого титана // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2009. – №11 – С. 7 –10.

4. *Кирин Ю.П., Краев С.Л.* Построение системы идентификации ситуаций функционирования ТП производства губчатого титана // Автоматизация в промышленности. – 2013. – №2 – С. 20 –24.

5. *Кирин Ю.П., Краев С.Л.* Ситуационное управление процессами производства губчатого титана // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2011. – №11. – С. 6 –11.

6. *Кирин Ю.П.* Импульсное позиционное управление технологическими процессами с нестационарными параметрами // Новый университет. – 2011. – №2. – С.18–22.

7. Патент 2153037 РФ. Способ управления процессом вакуумной сепарации губчатого титана / С.В. Евсеев, Ю.П. Кирин, Д.А. Рымкевич, Н.А. Носков. – Опубл. в БИ, 2000, №20.

8. *Фельдбаум А.А.* Основы теории оптимальных автоматических систем. – М.: Физматгиз, 1963. – 552с.

05.07.05

А.В. Козлова к.т.н., В.Я. Модорский д.т.н.

ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»,
аэрокосмический факультет,
кафедра механики композиционных материалов и конструкций,
Пермь, modorsky@pstu.ru

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАВИТАЦИОННЫХ ЭФФЕКТОВ В ЗАМКНУТОЙ ТРУБЕ С ПОДВИЖНОЙ СТЕНКОЙ

Представлены результаты численного моделирования кавитационных явлений, возникающих при движении поршня в замкнутой трубе, заполненной жидкостью. Разработаны физическая и математическая модели в трехмерной динамической постановке. Обнаружена зависимость параметров кавитации от параметров движения поршня и построены графики изменения давления в фиксированных точках расчетной области.

Ключевые слова: *кавитация, колебания, взаимодействие в динамической системе «жидкость-подвижная стенка».*

В ряде случаев наблюдается непрогнозируемое снижение напора центробежных насосов. Причина, возможно, объясняется процессами взаимовлияния в системе «жидкость–подвижная стенка» [1]. Для проверки этой гипотезы разработана трехмерная твердотельная модель, представляющая собой трубу, заполненную жидкостью. В трубе находится поршень, который совершает движение по заданному закону. При этом в жидкости, прилегающей к подвижной стенке, может происходить местное понижение давления и возникать кавитация, приводящая к снижению напора.

Сформулирована следующая физическая модель:

1. Одна из стенок цилиндра подвижна. 2. Сохраняется контакт жидкости с подвижной стенкой. 3. Процессы рассматриваются в динамической трехмерной постановке. 4. Поток является многофазным, в качестве первой фазы выбрана модель несжимаемой жидкости (вода), а для второй фазы – газ (воздух). 5. Плотности веществ имеют постоянные значения. 6. Учитывается взаимное влияние фаз. 7. Принята стандартная k-ε модель турбулентности.

При формировании физической модели были приняты следующие допущения: расчеты проводились без учета гравитации; стенки трубы непроницаемые, нетеплопроводные и гладкие (принимается, что все выступы элементов шероховатости лежат внутри вязкого слоя).

В соответствии с принятой физической моделью разработана математическая модель, которая базируется на законах сохранения массы, импульса, энергии, при этом учитывается конвективно-диффузионный перенос смешиваемых компонент, турбулентный характер течения. Система уравнений замыкается уравнением состояния идеального газа и начальными и граничными условиями. Математическая модель реализована в рамках системы инженерного анализа FlowVision 2.5 [2,3,4].

Математическое описание кавитационных явлений, возникающих при возвратно-поступательном движении поршня в трубе, в указанной постановке, включает в себя уравнения сохранения массы, импульса и энергии, уравнение переноса смешиваемых компонент (уравнение конвективно-диффузионного переноса) и уравнения турбулентности.

В качестве метода решения исходной системы дифференциальных уравнений в частных производных в программном обеспечении FlowVision рассматривается численный метод конечных объемов.

Расчетная область разбита на конечные объемы (100000 ячеек). На рис.1 показаны граничные условия и приводится размещение контрольных точек. Точка *1* находится в центре тяжести поперечного сечения, проходящего в середине трубы, а точка *2* – в центре тяжести поперечного сечения, проходящего на расстоянии 0.001м от правого края трубы.

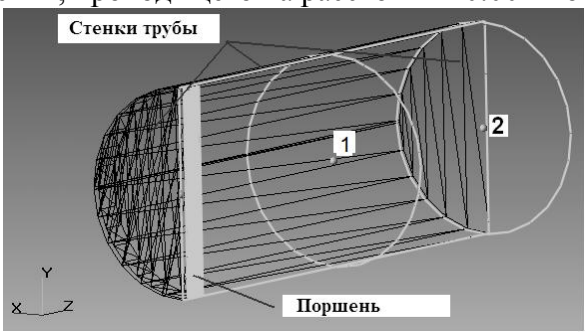


Рис. 1– Граничные условия и контрольные точки

Задавались следующие граничные условия.

1. Для границы «Стенки трубы» задано условие для стенки – «логарифмический закон».
2. Для подвижного тела «Поршень» заданы уравнения движения поршня в замкнутой трубе $V = V_0 \sin(\omega t)$, где V – скорость поршня, V_0 – начальная скорость поршня (амплитуда), ω – частота колебаний, t – время.

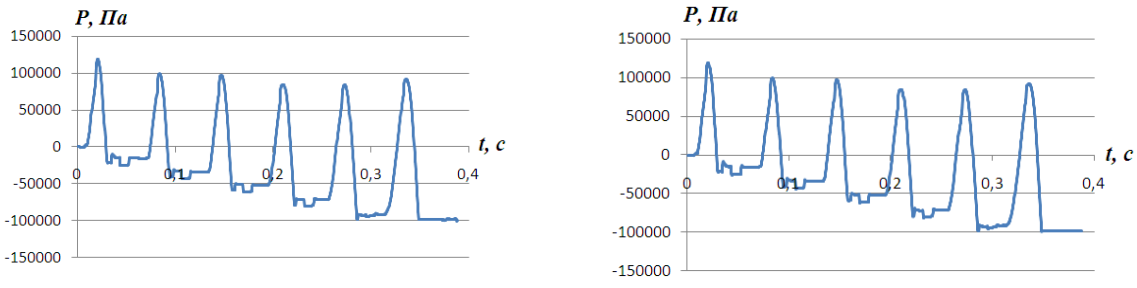
Вычислительные эксперименты проводились в нестационарной постановке. Шаг по времени устанавливался со значением $5 \cdot 10^{-4}$, количество итераций для каждого расчета не превышало 1000.

Разработан следующий план проведения вычислительных экспериментов (табл.1), где P и T – начальные давление и температура в замкнутом объеме.

Таблица 1 – План проведения вычислительных экспериментов

№ эксперимента	V_0, м/с	P, МПа	T, °С	ω, Гц	№ эксперимента	V_0, м/с	P, МПа	T, °С	ω, Гц
1	0.1	0.1	20	100	5	10.0	5	20	10000
2	0.5	0.1	20	100	6	0.1	20	20	3000
3	0.1	5	20	3000	7	10.0	20	20	3000
4	10.0	5	20	3000	8	10.0	20	20	10000

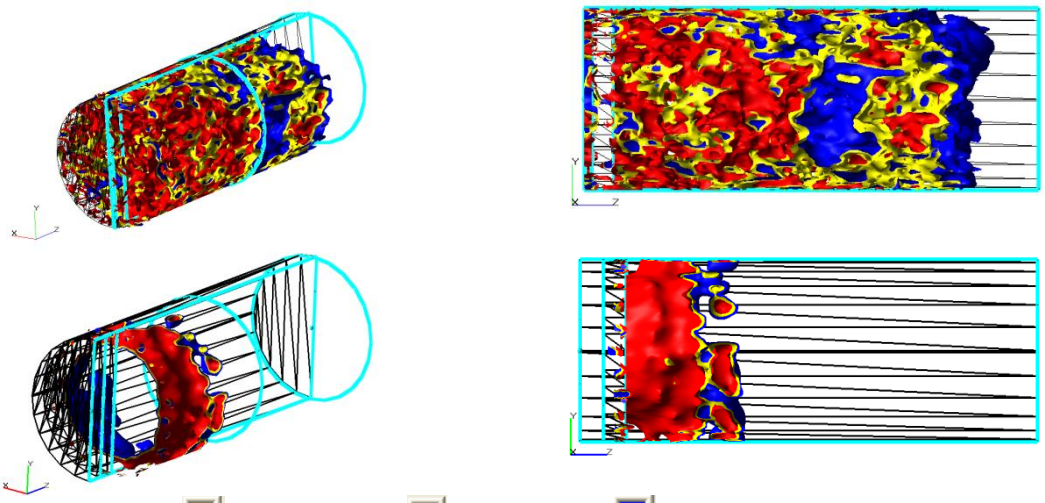
На рис. 2 представлены результаты численных экспериментов, показывающие изменение избыточного статического давления во времени в контрольных точках.



а *б*

Рис. 2. Изменение избыточного статического давления во времени для уравнения $V = 0.1\sin(100t)$: *а* – в точке *1*, *б* – в точке *2*

На рис.3,4 представлены изоповерхности распределения массовой концентрации газовой фазы (воздушных пузырей) по всей расчетной области в зависимости от закона движения поршня в замкнутой трубе.

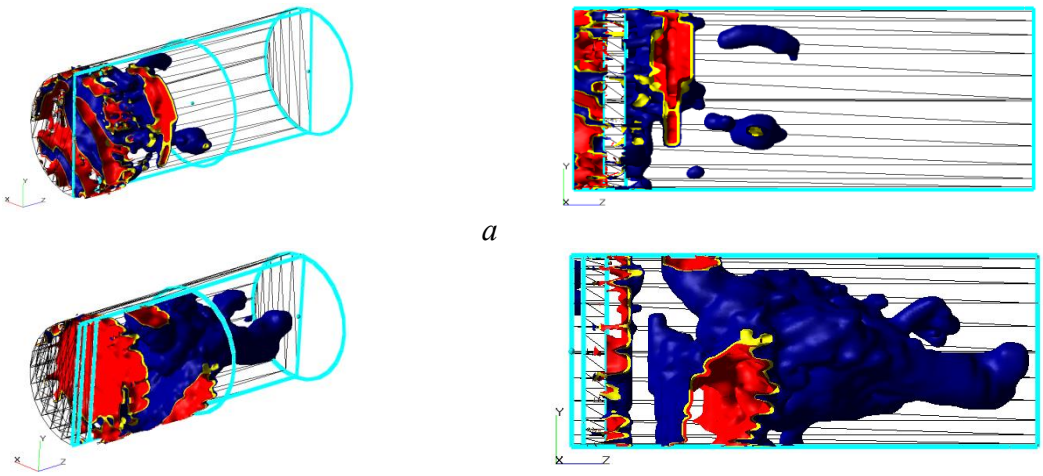


– C=0.001 – C=0.002 – C=0.0005

Рис. 3. Изоповерхности распределения концентрации газовой фазы, C
а – для уравнения $V = 0.1\sin(100t)$, *б* – для уравнения $V = 0.5\sin(100t)$

По результатам вычислительных экспериментов была составлена итоговая таблица, в которой качественно описаны наблюдаемые кавитационные эффекты (Табл. 2).

Видно, что характер кавитационных явлений зависит от закона движения поршня, в частности, от начальных значений скорости и частоты колебаний. Характеристика «Постоянно» означает присутствие кавитационных пузырей в расчетной области на всем временном промежутке, начиная с начала движения поршня. Характеристика «Пульсации» показывает, что имеются интервалы времени, когда в расчетной области наблюдается отсутствие массовой концентрации газовой фазы. Также можно отметить, что при малых начальных скоростях движения поршня кавитация отсуствует. Этот эффект наблюдается как при низких 100 Гц, так и при высоких 3000 Гц частотах.



а

б

– C=0.001 – C=0.002 – C=0.0005

Рис.4. Изоповерхности распределения концентрации газовой фазы, C
а – для уравнения $V = 10\sin(3000t)$, P=5МПа;
б – для уравнения $V = 10\sin(3000t)$, P=20МПа

Таблица 2 – Наблюдаемые кавитационные эффекты

№ эксперимента	Кавитация	Примечания	№ эксперимента	Кавитация	Примечания
1	Возникает	Пульсации	5	Возникает	Пульсации
2	Возникает	Постоянно	6	Не возникает	–
3	Не возникает	–	7	Возникает	Пульсации
4	Возникает	Пульсации	8	Возникает	Пульсации

При повышении начального давления в 50 раз эффект исчезает, даже при повышении частоты в 30 раз. Увеличение начальной скорости движения поршня в 100 раз при $\omega = 3000$ Гц и P=5МПа приводит к возникновению кавитации. Тот же эффект наблюдается и при P=20МПа.

Явление кавитации при вибрациях наблюдается как при низких 0.1МПа, так и при высоких 20МПа давлениях, что указывает, что срыв напора в насосах возможен при вибрациях, причем как в «традиционных» областях гидродинамического тракта, так и в соеденительных каналах и в полости ступеней высокого давления.

Список литературы

1. *Модорский В.Я., Соколкин Ю.В.* Газоупругие процессы в энергетических установках. / Под ред. Ю.В. Соколкина. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 176 с.
2. *Патанкар С.В.* Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 152 с.
3. *Роуч П.* Вычислительная гидродинамика. – М.: Мир, 1980. – 616 с.
4. FlowVision. Версия 2.5. Руководство пользователя / ООО «ТЕСИС». [М.], 2012. URL: http://www.flowvision.ru (дата обращения 01.11.2012).

05.07.05

В.В. Королев

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),
кафедра 201 «Теория воздушно-реактивных двигателей»,
Москва, my.lime.life@gmail.com

ПОСТРОЕНИЕ ПРОГРАММ УПРАВЛЕНИЯ НАПРАВЛЯЮЩИМИ АППАРАТАМИ КОМПРЕССОРА МНОГОСВЯЗНОГО ГТД

В статье рассмотрена задача управления положением НА КВД на переходных режимах работы многосвязного ГТД. Предложены программы управления и реализующая их структура САУ. Проанализированы результаты использования предложенных программ управления.

Ключевые слова*: ГТД, переходный процесс, многосвязное управление, направляющие аппараты компрессора.*

С развитием технологий и вооружения к современным истребителям предъявляются нормы, требующие оптимизации динамических параметров силовой установки и ее системы управления в целом. В частности истребители пятого поколения должны обладать более высоким показателем тяговооруженности.

Высокий показатель тяговооруженности означает лучшую динамику летательного аппарата, меньшую постоянную времени набора продольной скорости при увеличении тяги двигателя. Поэтому предъявляются более жесткие требования к системе автоматического управления (САУ) двигателя по времени приемистости. Для перспективного двигателя пятого поколения время приемистости не должно превышать 3 секунд. Обеспечить данный показатель времени приемистости двигателя без создания многосвязной САУ не представляется невозможным.

Постановка задачи

Рассматривается двухвальный газотурбинный двигатель (ГТД) с регулируемыми направляющими аппаратами (НА) компрессора высокого давления (КВД) и входными направляющими аппаратами (ВНА) компрессора низкого давления (КНД) и регулируемой площадью реактивного сопла (РС). Особенностями топливной системы являются:

- применение насоса с регулируемой производительностью,
- применение 2-х независимых дозаторов топлива для распределения топлива по коллекторам основной камеры сгорания (ОКС).

Предъявляются следующие основные требования к переходному процессу двигателя и САУ:

- Время приемистости не более 3 с при обеспечении заданных ограничений по запасам газодинамической устойчивости (ГДУ) и нагрузок на узлы изделия с целью обеспечения его ресурса. В первую очередь – ограничение продольного усилия на подшипники валов КВД и КНД, которые существенно возрастают на максимальных режимах при непрогретом двигателе и раскрытых створках РС.
- Обеспечение заданной минимальной тяги на режиме малого газа (МГ) на земле и в полете.
- Ограничение забросов параметров при выходе на заданный режим (не более 0.5% по частотам вращения роторов)
- Управляемость: плавное изменение тяги двигателя при перемещении рычага управления двигателя (РУД) с различной скоростью.

- Исключение индивидуальных настроек для конкретного двигателя и агрегатов системы топливопитания. При этом разброс времени приемистости должен укладываться в заданный допуск.
- Стабилизация времени приемистости при изменении условий полета летательного аппарата (ЛА).

Основными факторами, ограничивающими минимизацию времени приемистости являются запасы ГДУ компрессоров, максимальная температура газов перед турбиной высокого давления (ТВД) и, в меньшей степени, заброс по частотам вращения роторов при выходе на максимальный режим работы. При снижении времени приемистости ниже 4..5 с существенным фактором становятся также прочностные ограничения для ряда узлов, усиливается влияние начального теплового состояния двигателя. Эти факторы достоверно оцениваются в переходных режимах преимущественно экспериментально. В силу ряда указанных причин расчетные исследования и методы синтеза систем управления позволяют решать только отдельные частные задачи.

Задача управления переходными режимами сводится к задачам управления следующими контурами двигателя:

1. Расхода топлива в ОКС
2. Положения НА КВД
3. Положения ВНА КНД
4. Управления критическим сечением РС
5. Поддержанием заданного давления перед дозаторами топлива в ОКС.

Изменение в допустимых пределах положения ВНА КНД дает существенно меньший эффект. Учитывая требования по осевым усилиям и незаметности ЛА, необходимо обеспечить минимальную площадь РС на дроссельных и переходных режимах работы ГТД. Поэтому управление этими контурами не рассматривается.

Традиционный подход, реализованный в эксплуатируемых системах, состоит в синтезе автономных регуляторов, каждый из которых, формирует управляющее воздействие по заданной программе регулирования или поддерживает один из регулируемых параметров. Вместе с тем, обеспечение главного требования – минимального времени приемистости, достигается согласованной работой всех контуров многомерной САУ.

Решение задачи

Одним из существенных ограничений, не позволяющих выполнить требования по времени приемистости ГТД, являются используемые в настоящее время программы положения НА КВД.

Реализованное в серийных системах гидромеханическое регулирование НА КВД в зависимости от частоты вращения РВД имеет ряд серьезных недостатков. Гидромеханическое управление не позволяет реализовать оптимальные программы управления как для статических так и переходных режимов двигателя и, поэтому, используется единая программа положения НА КВД для приемистости и на установившихся режимах. Один из основных критериев выбора программа НА КВД является требование по тяге двигателя на режиме МГ. Малая тяга двигателя на этом режиме достигается за счет уменьшения расхода воздуха через газогенератор путем полного закрытия НА. В связи с этим приходится снижать избытки топлива при приемистости в её начальной фазе, т.к. они вызывают резкое повышение температуры газов перед ТНД и снижение запасов ГДУ компрессора. Выбранная для статических режимов программа НА КВД является неоптимальной для переходных. Вместе с тем основной вклад в минимизацию времени приемистости вносит именно начальная фаза, а заданное ускорение ротора в конечной фазе ограничено из условия прочности узлов ГТД.

При выборе структуры управления решалась задачи минимизации времени приемистости и достижения высокого быстродействия при слежении за изменяющейся в зависимости от положения РУД программой регулятора частоты вращения ротора КВД.

Проблема актуальна для близких к режиму малого газа дроссельных режимов, на которых значения постоянных времени роторов двигателя достигают (5…10)с. Инерционность роторов двигателя обратно пропорционально расходу воздуха, поэтому для оптимизации переходных процессов на дроссельных режимах и сокращения времени приемистости необходимо максимально увеличить расход воздуха. Однако обеспечение минимальной тяги на режиме МГ возможно только за счет минимизации расхода воздуха через внутренний контур ГТД путем закрытия НА КВД. Как следствие, программа положения НА КВД для статических режимов работы двигателя, выбранная из условия обеспечения заданной тяги МГ и линейной зависимости тяги от положения РУД, не обеспечивает потребный расход воздуха через ГТД на переходных режимах и является неоптимальной.

Для ускорения переходных процессов необходимо повысить расход воздуха через внутренний контур. Это достигается путем введения дополнительной программы НА КВД для переходных режимов – программы приемистости. Программа приемистости смещена на (5…10) градусов относительно программы для установившихся режимов в сторону раскрытия НА практически до границы вибропрочности лопаток компрессора.

Выбранные программы НА КВД показаны на рис. 1.

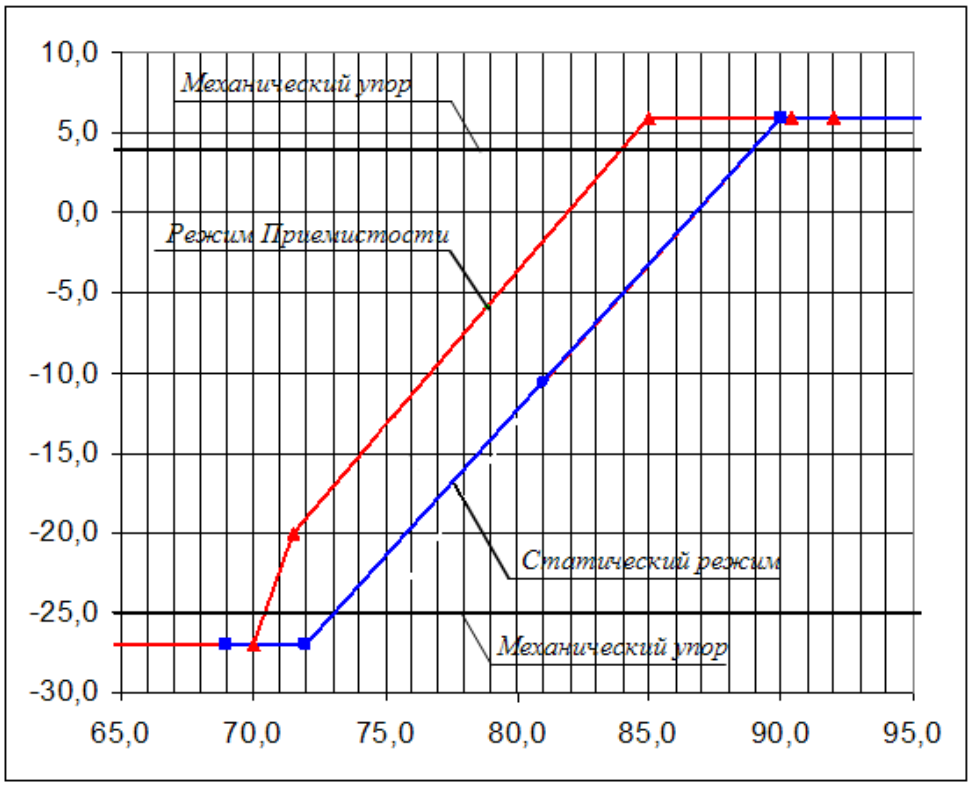


Рис. 1 – Программы положения НА КВД на установившемся и переходном режиме работы ГТД

Эффективность перестройки программы НА КВД иллюстрируется рис.3, на котором представлена зависимость степени сжатия КВД от расхода воздуха для различных значений положения НА компрессора (НАК) при постоянном значении приведенной частоты вращения ротора ВД. При открытом положении НАК расход воздуха и максимальная степень сжатия КВД почти в два раза выше по сравнению с закрытым положением. Изменение положения рабочей точки на характеристике компрессора показано стрелкой на рис.2. Черная пунктирная линия - напорная характеристика компрессора при положении НА для программы статических режимов, штрихпунктирная линия соответствует программе приемистости. Частичное раскрытие НА относительно программы для статических режимов на (20…30)% от полного диапазона изменения аэродинамического угла позволяет дополнительно повысить расход топлива в ОКС и сместить границу ГДУ. В результате перехода на программу приемистости возрастает максимально допустимое ускорение ротора

ВД. Увеличение расхода воздуха и топлива повышают мощность турбины вентилятора, и ротор НД начинает опережать ротор ВД.

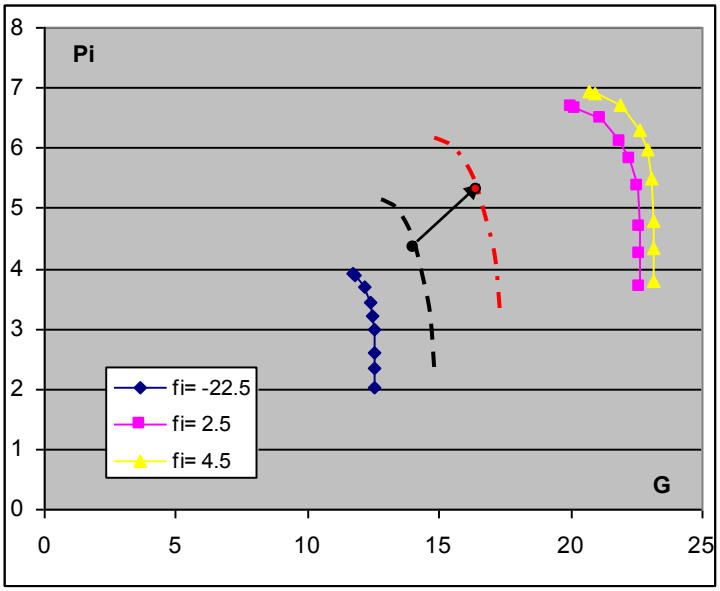


Рис. 2 – Напорная характеристика КВД

Плавный переход с программы установившихся режимов на программу приемистости достигается путем многосвязного управления расходом топлива и расходом воздуха через внутренний контур двигателя.

В систему управления была введена перекрестная связь между управляющими контурами: от управления расхода топлива к управлению положением НАК и обратно.

Структура САУ показана на рис. 3

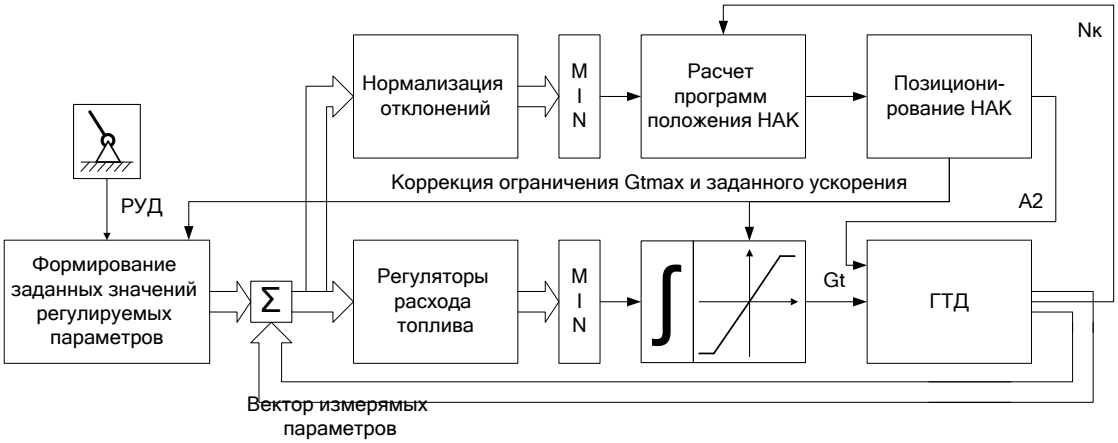


Рис. 3 – Структура САУ

Оценивается относительное отклонение текущего состояния двигателя от заданного, для чего разнородные значения регулируемых параметров работы основного контура (температура, частоты вращения роторов) приводятся к единому масштабу, выбирается минимум, и пропорционально величине ошибки смещается программа НАК. В соответствии с располагаемым расходом воздуха корректируется заданное ускорение ротора ВД и максимальный расход топлива в КС ГТД.

Переход на программу приемистости выполняется плавно в зависимости от относительного рассогласования заданных и фактических значений регулируемых воздействием на расход топлива в ОКС параметров. Таким образом, в зависимости от темпа изменения положения РУД, НА КВД занимают промежуточное положение между программой статических режимов и программой приемистости. При резком изменении положения РУД НА КВД переходят на программу приемистости. Синхронно с раскрытием

НА повышается максимально допустимые расход топлива в ОКС и ускорение ротора ВД. При переходе на программу приемистости НА КВД максимальный расход топлива повышается примерно на 50% относительно максимального расхода при положении НА КВД на программе для статических режимов. Пропорционально повышается программа ускорения ротора. Реализованная структура обеспечивает опережающую раскрутку ротора НД и повышает суммарный импульс тяги за время приемистости.

При ограниченном быстродействии контура позиционирования НА КВД возможно отставание НА КВД от программы. В этом случае, при использовании независимого управления НА и расходом топлива в ОКС, наступает помпаж двигателя из-за повышенных избытков топлива на режиме приемистости. Многосвязное управление НА и расходом топлива увеличивает избытки топлива в КС в зависимости от текущего положения НА КВД.

При частичных перемещениях РУД программа приемистости для НА КВД ограничивается тем положением, в котором НА КВД должны находиться на установившихся режимах. Это введено для обеспечения ресурса привода НА КВД и позволяет избежать «лишних» перемещений привода в переходных режимах.

Перестройка программы НА КВД изменяет динамическую структуру двигателя как объекта регулирования. Она организует внутреннюю отрицательную обратную связь с переменным коэффициентом усиления в зависимости от величины рассогласования между заданным и фактическим значениями частоты вращения. Коэффициент усиления определяется произведением коэффициентов передачи от НА КВД к частотам вращения роторов и величиной перестройки программы НА КВД. В начальной фазе переходного процесса ускоряется раскрутка ротора НД и замедляется раскрутка ротора ВД. Этот эффект учитывается при выборе коэффициентов усиления и постоянных времени корректирующих звеньев регуляторов.

Результаты

Сравнительные графики переходных процессов по частотам вращения роторов серийной САУ, укомплектованной агрегатом НР-31, и САУ, реализующей предложенные законы регулирования НАК, представлены на рис. 4

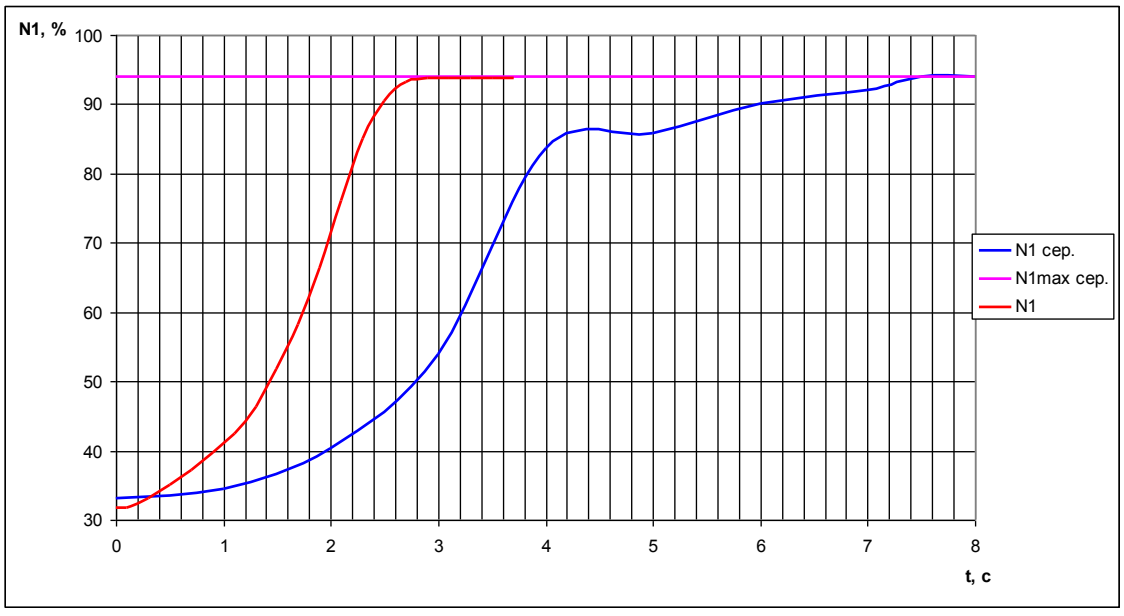


Рис. 4 – Переходные процессы по частоте вращения РНД в серийной и новой САУ

Синим цветом обозначены переходные процессы в серийной системе, красным – в новой САУ, розовым – программное значение частот вращения роторов.

За момент окончания приемистости принимался момент достижения частотой вращения РНД 98% от программного значения. Результаты моделирования на поэлементной модели

показывают, что этот момент совпадает с моментом достижения 95% значения тяги максимального режима работы ГТД.

Из графиков видно, что время переходного процесса в серийной системе составляет около 2.5 с против 6 секунд в серийной системе. Ускорение ротора НД в начальной фазе приемистости в 2..3 раза выше в новой САУ по сравнению с серийной системой, что обеспечивает повышение импульса тяги ГТД.

Выводы

Применение данной структуры управления переходными режимами позволяет:

- Обеспечить приемлемое соотношение расхода воздуха через компрессор и расхода топлива в ОКС ГТД, исходя из требований к переходному процессу двигателя.
- Обеспечить опережающую раскрутку ротора НД и повысить суммарный импульс тяги за время приемистости.
- Сократить времени приемистости на (30…40)% по сравнению с изделием 117С, укомплектованным гидромеханическим агрегатом НР-31. Номинальное время приемистости в условиях стенда с режима малого газа до максимального режима «У» составляет 3,0с, с режима захода на посадку n2пр=(78…80)% до максимального режима «У» - не более 2.0с.
- Обеспечить защиту ГТД от помпажа при недостаточном быстродействии контура позиционирования НА КВД.

Список литературы

1. *С.А. Гаевский, Ф.И. Морозов, Ю.П. Тихомиров* Автоматика авиационных газотурбинных силовых установок - М.: Воениздадт, 1980. – 248 с.
2. *О.С. Гуревич, Ф.Д. Гольберг, О.Д. Селиванов* Интегрированное управление силовой установкой многорежимного самолета - М. : Машиностроение, 1994. - 304 с.
3. *А.А. Шевяков, Т.С. Мартьянова, В.Ю. Рутковский и др.* Оптимизация многомерных систем управления газотурбинных двигателей летательных аппаратов. Системный подход - М.: Машиностроение, 1989. - 256 с.
4. *В.И. Бакулев, В.А. Голубев, Б.А. Крылов и др*. Теория, расчет и проектирование авиационных двигателей и энергетических установок - М.: МАИ, 2003 – 688 с.

05.13.18

О.В. Костенко, К.Н. Орлова

Юргинский технологический институт (филиал)
Национального исследовательского Томского политехнического университета,
г. Юрга, AlisaSten@mail.ru

ПОСТРОЕНИЕ НЕЙРОАЛГОРИТМА ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ СУММАРНОГО ОБЛУЧЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА

В работе показан пример построения нейроалгоритма для расчетов и программирования сложных природных систем, таких как суммарное облучение человека. Сконструированная схема нейросети и нейроалгоритм позволят реализовать программирование радиационных процессов с помощью нейросетевых технологий.

Ключевые слова: *нейросетевые технологии, радиационное облучение, алгоритмизация.*

Развитее общества и технологий приводит к постоянному совершенствованию процессов познания интересующих явлений в жизнедеятельности человека. Человек постоянно пытается структурировать полученные знания для дальнейшего развития общества. При этом количество приобретенных знаний колоссально велико, мозг человека пытается реализовать идентификацию огромного количества данных для осуществления наиболее вероятного прогноза ситуации. Мозг является самым большим «компьютером» для хранения и обработки информации. Нервная система и мозг человека состоят из нейронов, соединенных между собой нервными волокнами. Сами нервные волокна способны передавать электрические импульсы между нейронами. Все процессы передачи раздражений от кожи, ушей и глаз к мозгу, процессы мышления и управления действиями – все это реализовано в живом организме как передача электрических импульсов между нейронами [1].

После появления термина «нейронная сеть», имитация нейронной деятельности успешно осуществляется во многих областях науки, таких как: экономические процессы и явления, алгоритмизация, систематизация данных и т.д. Но это далеко не все возможности применения нейросетей.

В настоящее время нейросеть – это своего рода алгоритм; математическая модель, представляющая собой систему соединённых и взаимодействующих между собой нейронов.

Искусственные нейронные сети строятся по принципам организации и функционирования их биологических аналогов. Они способны решать широкий круг задач распознавания образов, идентификации, прогнозирования, оптимизации, управления сложными объектами. Дальнейшее повышение производительности компьютеров все в большой мере связывают с искусственной нейронной сетью, в частности, с нейрокомпьютерами основу которых составляет искусственная нейронная сеть.

Целью данного исследования является анализ возможности использования нейросетевых технологий при алгоритмизации природных явлений, построение нейроалгоритма определения годовой дозы облучения человека.

В связи с этим были поставлены следующие задачи:

1. Анализ современного состояния способов реализации нейросетевых технологий;
2. Анализ процессов и явлений, вносящих вклад в общую годовую дозу облучения гамма-квантами;
3. Построение алгоритма определения результата суммарного радиационного облучения человека.

Большую часть облучения населения земного шара составляет излучение от естественных источников радиации. На протяжении всей истории существования Земли разные виды ионизирующих излучений падают на поверхность Земли из космоса и поступают от радиоактивных веществ, находящихся в земной коре. Таким образом, радиационному воздействию подвергается любой житель планеты, даже если он не работает с опасными радиоактивными веществами или на атомных электростанциях.

Однако дозы, получаемые населением, будут разниться. Это зависит, в частности, от того, где они живут. Уровень радиации в некоторых местах земного шара, там, где залегают особенно радиоактивные породы (например, республика Алтай), оказывается значительно выше среднего, а в других местах – соответственно ниже.

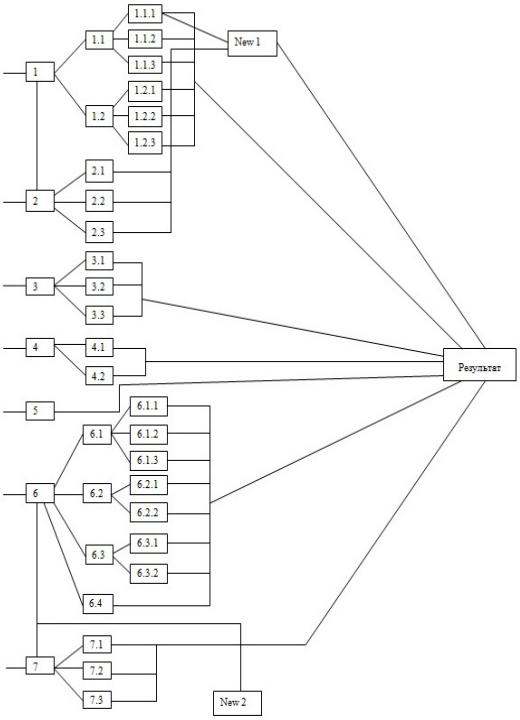
По данным Международной комиссии по радиологической защите, в большинстве стран, в том числе России, источники ионизирующего излучения природного происхождения создают около 50% средней дозы облучения человека, а вклад техногенных источников, которые попали в окружающую среду в результате радиационных аварий на атомных электростанциях и испытаний ядерного оружия, не превышает 0,05 % [2].

Естественным источником радиации является также космическое излучение. Его величина зависит от наличия облачности (высокая облачность, умеренная погода или ясная). Наличие объектов атомной энергетики будет вносить существенный вклад только при непосредственном расположении рядом с местом проживания человека. Величина облучения продуктами распада торона и радона взаимосвязана с частотой вентиляции помещений, герметизации стен, наличия полноценных отдушин при подвальных помещениях и т.д.

Доза облучения зависит также от быта и образа жизни людей. Так если человек часто пользуется воздушным транспортом (особенно более 4-6 раз в год) то общая получаемая доза будет гораздо выше. Так как при подъеме на высоту около 10,5 км экранирующий эффект земной атмосферы частично исчезает, и в результате пассажиры авиалайнера и члены его экипажа получают небольшие дополнительные дозы радиации. Например, скажем, для тех, кто совершает четыре перелета через Атлантику в год, общая доза составляет 0,4 мЗв. Применение некоторых строительных материалов, использование ионизирующих излучений в медицине и даже герметизация помещений и даже полеты на самолетах – все это увеличивает уровень облучения за счет естественных источников радиации.

В результате была определена нейросетевая взаимосвязь природных процессов (рис. 1).

Изучая взаимодействие данных в нейросети природных процессов, было выяснено, что наблюдается весомое влияние на результат процесса, исходя из взаимодействующих факторов в сторону усиления, ослабления или компенсации облучения. Был выстроен алгоритм работы нейросети для анализа данных (рис. 2).



1 Космическое излучение: 1.1 Галактическая радиация (1.1.1 Облачная погода, 1.1.2 Солнечная погода, 1.1.3 Умеренная погода); 1.2 Солнечная радиация (1.2.1 Облачная погода, 1.2.2 Солнечная погода, 1.2.3 Умеренная погода)
2 Пользование авиатранспортом: 2.1 Да, 1-2 раза в год; 2.2 Да, 6 и более раз в год; 2.3 Нет
3 Использование ионизирующего излучения в медицине: 3.1 За год не проходил: 3.2 За год проходил 1 раз; 3.3 За год проходил несколько раз
4 Атомная энергетика: 4.1 Наличие АЭС в районе 50 км; 4.2 Нет АЭС в районе 50 км
5 Глобальное выпадение продуктов ядерных испытаний
6 Облучение продуктами распада торона и радона: 6.1 частота проветривания помещения (6.1.1 Чаще 2 раз в день, 6.1.2 один раз в день,6.1.3 Не ежедневно); 6.2 Герметизация стен (6.2.1 Наличие ремонта с изоляцией стен, 6.2.2 Нет ремонта с изоляцией стен); 6.3 Проживание на нижних этажах зданий (6.3.1 Вентиляция подвальных помещений, 6.3.2 отсутствие отдушек); 6.4 Верхние этажи
7 Естественный радиационный фон: 7.1 Проживание в местах повышенного радиационного фона, ПРФ > 0.11 нЗв/ч; 7.2 Проживание в местах умеренного радиационного фона, УРФ < 0,09 нЗв/ч; 7.3 Проживание в местах обычного радиационного фона, ОРФ

Рис. 1— Схема нейросети природных процессов

Рис. 2 — Алгоритм определения результата радиационного облучения человека

Исходя из этого, первым пунктом алгоритма является поиск частных случаев и определение взаимосвязи факторов. После обработки данных определяется результат – годовая доза облучения человека гамма-квантами.

Выводы:

1) в результате анализа современного состояния нейросетевых технологий установлена возможность применения нейросети для расчетов и программирования сложных природных процессов, таких как радиационное облучение человека;

2) суммарное радиационное облучение складывается из множества взаимозависимых природных явлений и факторов, при классификации и алгоритмизации которых выявлена зависимость подобная нейронной;

3) при учете основополагающих факторов облучения человека построена схема нейросети природных процессов и алгоритм определения результата суммарного радиационного облучения человека, который позволит реализовать программирование процессов радиационного облучения с помощью нейросетевых технологий.

Список литературы

1. *Каширина И.Л.* Нейросетевые технологии. Учебно-методическое пособие для вузов. – Изд-во Воронежского государственного университета, 2008. – 72с.

2. *Орлова К.Н.* Исследование уровня радиационной безопасности на территории города Юрги // Вестник Кузбасского государственного технического университета [Вестник КузГТУ] / Кузбасский государственный технический университет (КузГТУ) . – 2011. № 6. С. 35-37.

05.13.18

Я.С. Крюкова, В.О. Каледин, Т.В. Бурнышева

Новокузнецкий институт (филиал)
ФГБОУ ВПО «Кемеровский государственный университет»,
факультет информационных технологий,
кафедра математики и математического моделирования,
Новокузнецк, krjanik@rambler.ru, vkaled@nkfi.ru, tburn@mail.ru

ЭФФЕКТИВНЫЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ КУСОЧНО-ОДНОРОДНОЙ СРЕДЫ

Получено численного решение задачи электропроводности для случая кусочно-однородной макроанизотропной среды при приложении распределенного тока на границе. Определена зависимость компонент тензора удельного сопротивления армированной среды от параметров включений.

Ключевые слова: *метод конечных элементов, электропроводность, кусочно-однородная анизотропная среда, тензор удельного сопротивления.*

В настоящее время существуют методы повышения электроэрозионной стойкости электродов, которые заключаются в армировании поверхностного слоя частицами другого материала [1]. Для применения этих методов необходима оценка эффективной электропроводности получаемого неоднородного материала. В связи с этим является актуальным исследование электропроводности кусочно-однородной среды, состоящей из материалов с разным удельным сопротивлением. Такая среда на макроуровне является анизотропной, что требует оценки всех компонент тензора электропроводности и не позволяет непосредственно использовать правило смесей. В данной работе приведено численное решение задачи в вариационной постановке методом конечных элементов [2].

Установившийся ток в сплошной проводящей среде описывается дифференциальным уравнением (закон Киргофа) [6]

$$\operatorname{div} \vec{j} - q = 0, \tag{1}$$

где $\vec{j}$ – вектор плотности тока, q – плотность источника тока. Это уравнение должно быть дополнено граничными условиями: первого рода, в потенциалах и граничными условиями второго рода

$$U\big|_{\Gamma_1} = U_\Gamma \text{ и } \qquad \vec{j}_n\Big|_{\Gamma_2} = J, \tag{2}$$

где U – потенциал, Γ_1 – часть границы, на которой задан потенциал $U_г$; $\vec{j}_n$ - вектор нормали плотности тока, Γ_2 – часть границы, на которой заданна плотность тока J.

Для замыкания системы уравнений (1)-(2) используем связь между плотностью тока и градиентом потенциала, которая для анизотропной среды имеет вид

$$\begin{pmatrix} j_x \\ j_y \\ j_z \end{pmatrix} = -\begin{bmatrix} \gamma_x & \gamma_{xy} & \gamma_{xz} \\ \gamma_{yx} & \gamma_y & \gamma_{yz} \\ \gamma_{zx} & \gamma_{zy} & \gamma_z \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \frac{\partial U}{\partial x} & \frac{\partial U}{\partial y} & \frac{\partial U}{\partial z} \end{pmatrix}^{\mathrm{T}}, \tag{3}$$

Здесь j_x, j_y, j_z – координаты вектора плотности тока j; γ_{ij} – коэффициенты проводимости среды, образующие симметричную положительно определенную матрицу для анизотропной среды.

При построении конечноэлементных представлений потенциала в типичном конечном элементе мы можем локально абсолютный потенциал аппроксимировать так [2]:

$$U^e = \left[N_1^e, \quad N_2^e, \quad \ldots\right]\left\{U_1^e, \quad U_2^e, \quad \ldots\right\}^T = \left[N^e\right]\left\{U^e\right\}, \tag{4}$$

где N_i^e – базисная линейная сплайн-функция формы, равная единице в i-м узле и нулю – в остальных узлах конечного элемента номер e.

Преобразовав уравнение (1), учитывая (2) и (3), используя уравнение Остроградского-Гаусса и учитывая, что (1) должно выполняться при произвольных $\{U^e\}$ [4], получаем

$$\left[h_{kl}^e\right]\left\{U^e\right\} = \left[q_1\right] + \left[q_2\right], \tag{5}$$

где $\left[q_1\right] = \int\limits_S j_n \left[N^e\right]^T dS$, $\left[q_2\right] = \int\limits_V q\left[N^e\right]^T dV$, $\left[h_{kl}^e\right] = \int\limits_V \nabla\left[N^e\right]^T [D] \nabla\left[N^e\right] dV$.

Уравнение (5) – общее уравнение электропередачи для конечного элемента. Глобальная форма уравнения электропередачи для всей модели:

$$[H]\{U\} = \{Q\}, \tag{6}$$

где {U} – вектор-столбец узловых неизвестных потенциалов, {Q} – вектор-столбец узловых токов возбуждающего поля, [H] – матрица электропроводности. В статье [6] обоснована корректность применения метода конечных элементов при наличии точечных источников тока, доказана сходимость метода для любых вариантов анизотропии.

Численная реализация выполнена на базе разработанного на кафедре математики и математического моделирования НФИ КемГУ пакета программ «Композит-НК». Он является исследовательским пакетом, предназначенным для вычислительных экспериментов в механике конструкций с усложненными физико-механическими свойствами [3]. Пакет имеет открытый исходный код, что позволяет производить его модификацию при возникновении задач, решения которых не были предусмотрены разработчиками. Это обусловило выбор пакета в качестве среды реализации для расчета полей электрического потенциала.

Разработанная методика была использована для расчета полей потенциалов в кусочно-однородной проводящей среде - пластине с включениями из разных материалов. Определялись коэффициенты удельного сопротивления среды в зависимости от объемного содержания включенных частиц и соотношения расстояний между ними в разных направлениях. Для этого на правой кромке пластины задан постоянный потенциал, а на левой кромке задана постоянная плотность тока (рис. 1). Численно рассчитывались поля потенциалов медной и молибденовой пластин с удельной проводимостью, равной $5{,}81 \cdot 10^7$ и $1{,}82 \cdot 10^7$ $Ом^{-1}*м^{-1}$ соответственно при изменении удельной проводимости материала включений в интервале $[1{,}82 \cdot 10^7; 5{,}81 \cdot 10^7]$.

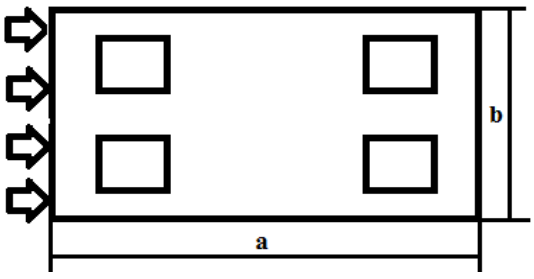


Рис. 1– Пластина, содержащая включения

На рис. 2 изображено поле потенциалов медной пластины с включениями молибдена при объемном содержании включений 16%.

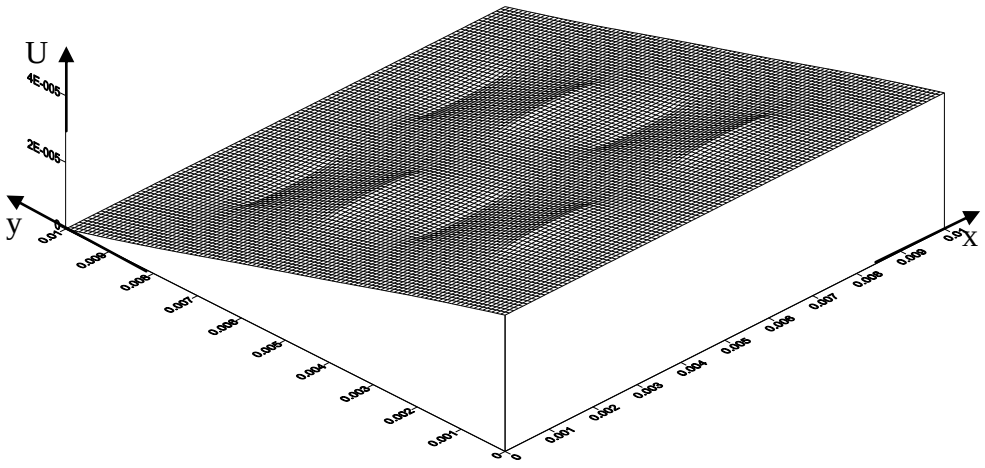
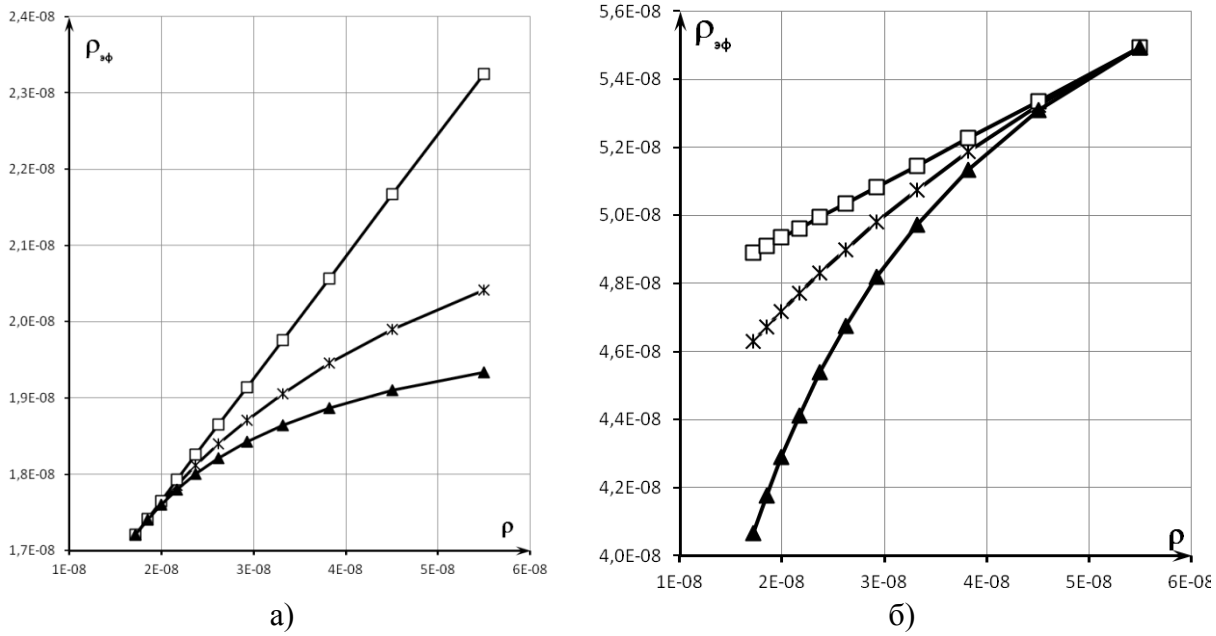


Рис. 2– Зависимость потенциала от координат в медной пластине с включениями молибдена

С увеличением удельного сопротивления материала включений эффективное удельное сопротивление неоднородной среды также возрастает.

Зависимость эффективного удельного сопротивления медной и молибденовой пластин от удельного сопротивления материала включений представлено на рисунке 3.



а) б)

Зависимость эффективного удельного сопротивления от удельного сопротивления материала включений

Верхняя оценка эффективного удельного сопротивления по правилу смесей

Нижняя оценка эффективного удельного сопротивления по правилу смесей

Рис. 3– Зависимость эффективного удельного сопротивления от удельного сопротивления материала включений: а) медная пластина; б) молибденовая пластина

Как видно на рисунке, результаты численного расчета находятся между верхней и нижней оценками эффективного удельного сопротивления по правилу смесей [5]: эффективное

удельное сопротивление пластины равно сумме произведений процентного содержания материала модели на удельное сопротивление этого материала.

Исследовалось изменение эффективного удельного сопротивления медной пластины в зависимости от расстояния по вертикали и горизонтали между включениями в пластине при неизменном объемном содержании.

С увеличением объемного содержания включений, сопротивление которых больше сопротивления связующего, величина эффективного удельного сопротивления увеличивается. Зависимость эффективного удельного сопротивления медной пластины от отношения расстояний между молибденовыми включениями представлена на рис. 4.

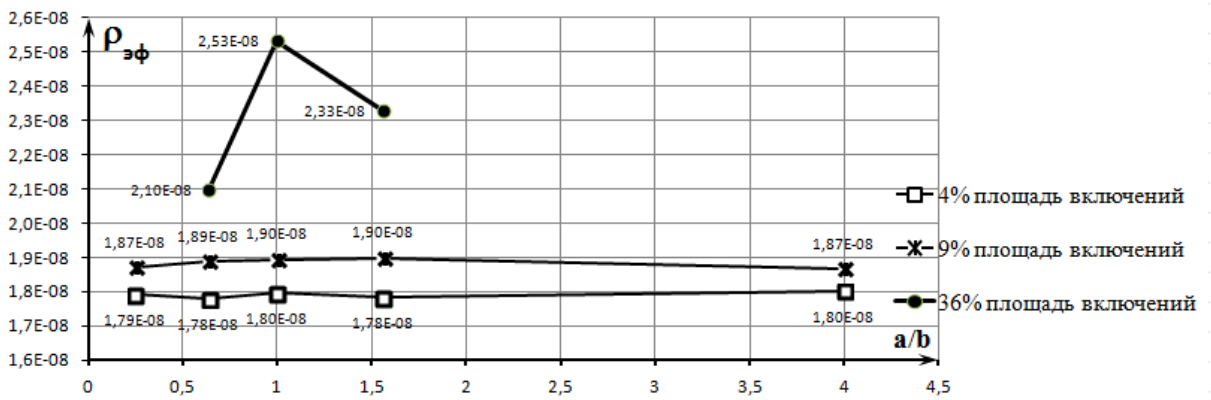


Рис. 4- Зависимость эффективного удельного сопротивления медной пластины от отношения расстояний между включениями с процентным объемным содержанием 4%, 9% и 32%

Таким образом, на основе численного решения задачи электропроводности для случая кусочно-однородной среды определена зависимость эффективного удельного сопротивления армированной среды от параметров включений. Выявлено, что с увеличением удельного сопротивления материала включений, эффективное удельное сопротивление неоднородной среды также возрастает, что качественно согласуется с известными представлениями. Полученные значения эффективного удельного сопротивления попадают в «вилку» между верхней и нижней оценками по правилу смесей [5]. При этом вычисленные компоненты удельного сопротивления в разных направлениях чувствительны к изменению отношения расстояний между включениями по вертикали и по горизонтали. Полученные эффективные коэффициенты удельного сопротивления позволяют решать задачу электропроводности на макроуровне.

Список литературы

1. *Будовских Е.А., Карпин С.В., Громов В.Е.* Формирование поверхностных слоев металлов и сплавов при электровзрывном легировании // Изв. РАН. Сер. Физ. 2009. – Т. 73. -№9. – С. 1324-1327.

2. *Зенкевич О.* Метод конечных элементов в технике. – М.: Мир, 1975. – 541 с.

3. *Каледин В.О.* Численно-аналитические модели в прочностных расчетах пространственных конструкций [Текст] / В.О. Каледин. – Новокузнецк: НФИ КемГУ, 2000. – 204 с.

4. *Оден Дж.* Конечные элементы в нелинейной механике сплошных сред. М.: Мир, 1976, 464 с.

5. *Сендецки Дж.* Композиционные материалы. – В кн: Механика композиционных материалов: В 8 т. М.: Мир, т.2, С 61-101.

6. *Шеметов В.А.* Геология и геофизика [Текст] / Шеметов В.А. - Новосибирск: издательство СО РАН НИЦ ОИГГМ СО РАН, т. 39, №2, 1998г., с. 250-259.

05.11.13

Д.О. Куценко

Московский государственный университет приборостроения и информатики,
НУЦ «КАСКАД»,
Москва, petr_shkatov@mail.ru

ДВУХПАРАМЕТРОВАЯ ВИХРЕТОКОВАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА СВЕРХПРОВОДЯЩЕЙ ПРОВОЛОКИ

Описана вихретоковая установка для дефектоскопии медной оболочки сверхпроводящей проволоки с одновременным измерением отношения медь/не медь в ней. Установка согласована с разработанными в центре Европейского совета ядерных исследований (Церн) требованиями плана обеспечения качества БАК (большого адронного коллайдера).

Ключевые слова: *вихретоковый контроль, сверхпроводник, дефектоскопия, отношение медь/не медь.*

В ОАО «ВНИИНМ» им. А.А. Бочвара разработана технология и налажено производство низкотемпературных сверхпроводников на основе соединения Nb_3Sn, имеющих представленную на рис. 1 конструкцию и предназначенных для изготовления обмоток электромагнитов БАК (большого адронного коллайдера). Согласно требованиям Европейского совета ядерных исследований (Церн) для применения сверхпроводящей проволоки в электромагнитах БАК требуется проведение в процессе ее производства вихретоковой дефектоскопии медной оболочки и точечные замеры отношения "медь/не медь".

Из-за особенностей технологии [1] внешний диаметр проводника остается неизменным и составляет, в зависимости от модификации, величину порядка 0,8…1,2 мм. В связи с этим, повышение объемной доли стабилизирующей меди приводит к уменьшению размера сверхпроводящей сердцевины. С другой стороны, уменьшение доли стабилизирующей меди приводит к недопустимому перегреву при защитном выводе тока через медную оболочку. Следовательно, имеется оптимум отношения объемных долей медной и не медной составляющих сверхпроводящего провода, характеризуемого параметром k_m="медь/не медь". По требованию разработчиков проекта он должен находиться в диапазоне k_m=1,0±0,1. Для провода с внешним диаметром d=0,82 мм это соответствует номинальной толщине медной оболочки $t_н$ = 0,12 мм при нижнем допустимом значении $t_{нд}$ =.0,1126 мм и верхнем допустимом значении $t_{вд}$ =.0,127 мм.

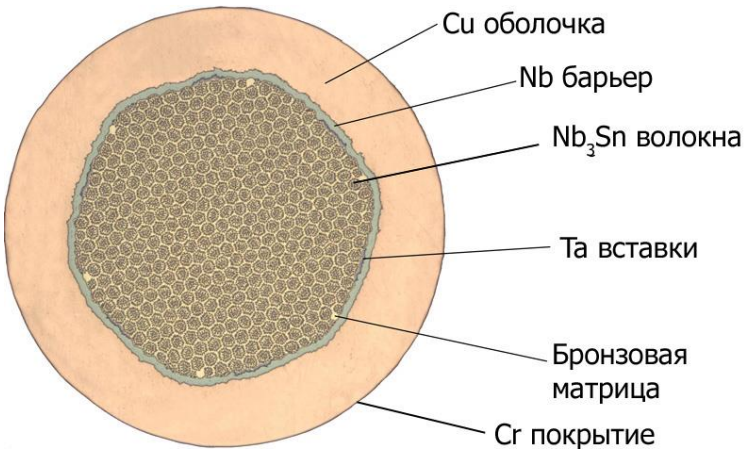


Рис. 1 – Поперечное сечение сверхпроводника на основе Nb_3Sn,

При производстве сверхпроводящей проволоки в ее медной оболочке могут находиться включения магнитного и немагнитного металла, а также воздушные поры. Трещины в медной оболочке не образуются из-за высокой пластичности меди. В процессе эксплуатации, при низкой температуре, медь становится хрупкой. В связи с этим наличие пор и инородных включений диаметром более 300 мкм недопустимо.

В работе [2] была показана принципиальная возможность решения обеих задач контроля вихретоковым методом. При этом в процессе производства будет непрерывно выполняться не только дефектоскопия, но и измерение отношения k_m. Возможность измерения отношения "медь/не медь" определяется тем, что при обычной температуре удельная электрическая проводимость медной оболочки составляет 58,8 МСм/м, а не медной части (бронзовая матрица с ниобиевыми волокнами + танталовые вставки + ниобиевый барьер) – 5,59 МСм/м. Влиянием хромового покрытия можно пренебречь из-за его малой толщины (1…2 мкм) и более низкой электропроводимости.

Вместе с тем, для реализации измерения k_m применить известные средства вихретокового контроля не удается. Проведенные теоретические и экспериментальные исследования показали, что при оптимальной рабочей частоте f=60 кГц необходимо регистрировать изменения выходного сигнала проходного ВТП на уровне 0,05%.

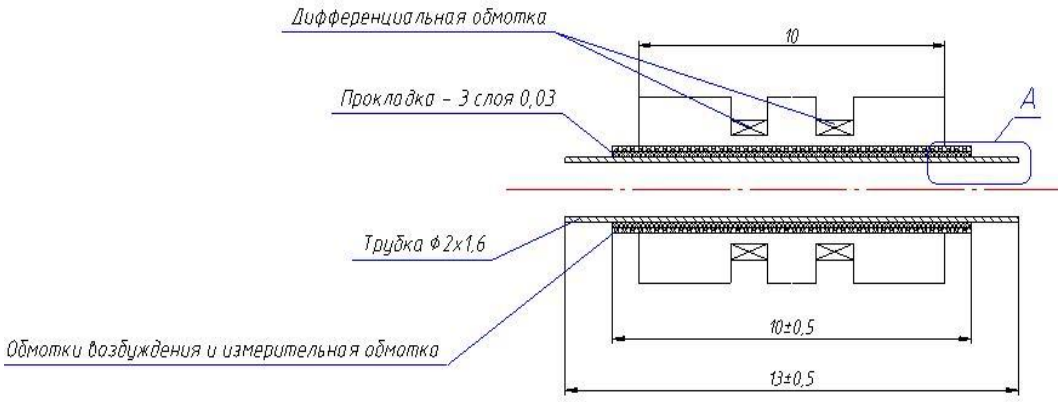


Рис. 2–Конструкция вихретокового преобразователя

Так как измеряемая величина весьма мала, необходима высокая долговременная стабильность параметров ВТП. Это связано еще и с тем, что контроль проволоки совмещается с процессом ее изготовления. При этом отсутствует возможность подстройки электронного блока устройства, так как для этого необходимо извлечь контролируемую проволоку из рабочей полости ВТП и ввести туда стандартные образцы. Это невозможно до полного изготовления бухты провода, имеющей длину до 20 км. В настоящее время вихретоковых средств контроля с требуемыми техническими характеристиками не выпускается, что привело к необходимости настоящей разработки. Так как оптимальная рабочая частота для решения задач дефектоскопии и измерения отношения k_m совпадают, целесообразно их одновременное решение с помощью общих ВТП и электронного блока.

В результате макетирования и длительных испытаний различных вариантов выполнения ВТП была выбрана конструкция, представленная на рис. 2. ВТП состоит из возбуждающей обмотки, измерительной обмотки абсолютного канала (для измерения отношения "медь/не медь") и двух идентичных дифференциально включенных измерительных обмоток дефектоскопического канала. В качестве механической основы ВТП используется стальная трубка из немагнитной нержавеющей стали с внутренним диаметром 1,6 мм и внешним – 2,0 мм. Для упрощения реализации использована инъекционная игла нужного внутреннего диаметра. На внешнюю поверхность стальной трубки виток к витку намотаны две обмотки – возбуждающая и измерительная для абсолютного канала.

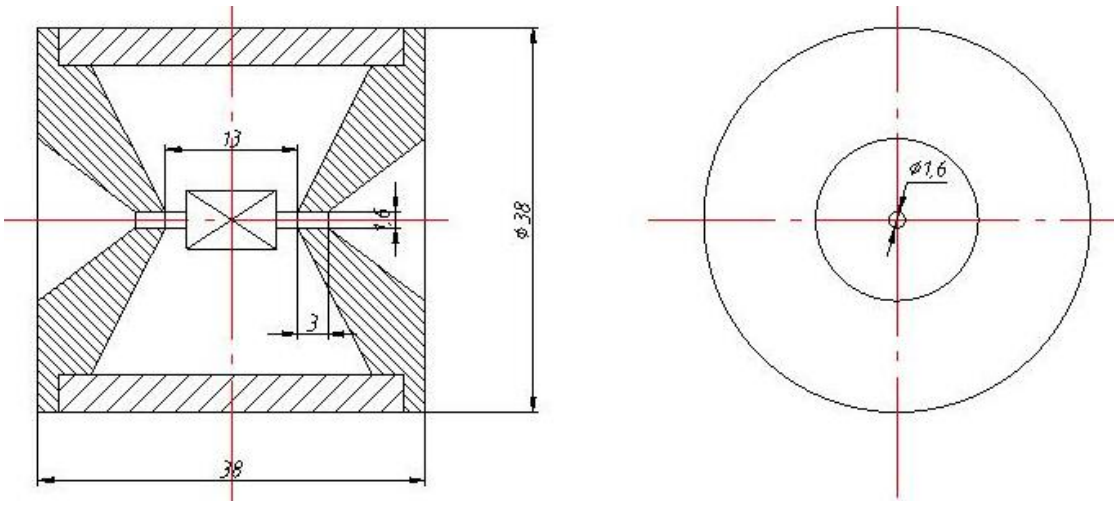


Рис. 3 – Конструкция блока проходного вихретокового преобразователя

Измерительные обмотки дефектоскопического канала размещены на диэлектрическом каркасе, выполненном из кости бивня мамонта. Этот материал обладает высокой температурной стабильностью, необходимой твердостью и легко обрабатывается. Благодаря этому удается изготовить пазы каркаса под обмотки с высокой точностью, что важно для обеспечения идентичности обмоток. Каркас дефектоскопического канала размещается симметрично относительно возбуждающей обмотки. Конструкция блока вихретокового преобразователя показана на рис. 3.

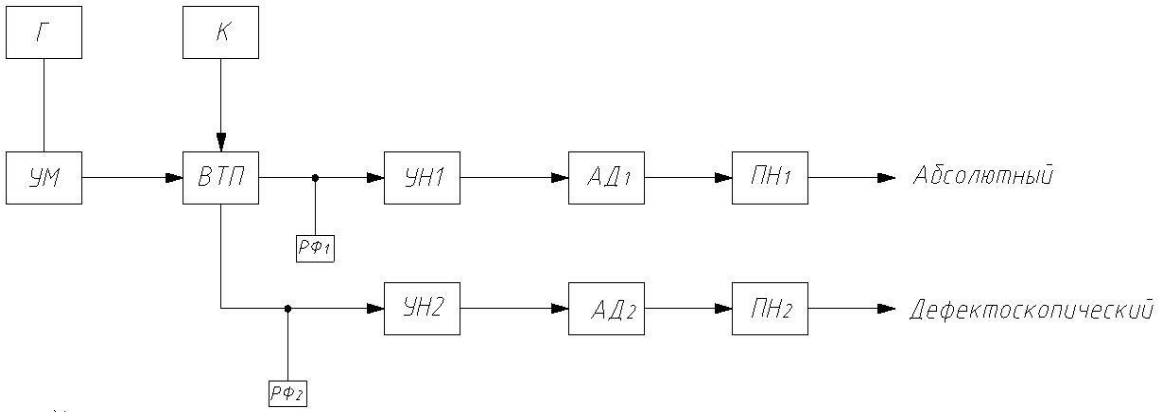


Рис. 4 –Блок–схема вихретоковой установки «БОЗОН»:
Г - генератор, УМ - усилитель мощности, К - компенсатор,
$УН_1$ и $УН_2$ – усилители напряжения, $АД_1$ и $АД_2$ - амплитудные детекторы,
$ПН_1$ и $ПН_2$ – повторители напряжения

Блок–схема вихретоковой установки «БОЗОН» приведена на рис. 4. Она имеет два идентичных по структуре измерительных канала: дифференциальный – для дефектоскопии и абсолютный – для измерения отношения "медь/не медь". Каналы состоят из последовательно соединенных усилителя напряжения УН, амплитудного детектора АД и повторителя напряжения ПН. Блок генератора Г с усилителем мощности обеспечивают необходимый ток возбуждения ВТП. Компенсатор К обеспечивает динамический диапазон, стабильность и повторяемости результатов измерений. Для исключения влияния других частот, присутствующих в спектре возбуждающего тока, применены режекторные фильтры РФ, настроенные на 3-ю. Выходные сигнала каждого канала предназначены для подключения через АЦП к компьютеру для регистрации и отображения информации.

Градуировка абсолютного канала проводится с помощью стандартных образцов в виде проволок с внешним диаметром 0,82 мм и с различным отношением "медь/не медь". Дефектоскопический канал проверяется с помощью образцов с искусственными дефектами в

виде сверлений диаметром 0,3 мм. В процессе контроля сверхпроводящая проволока перемещается через полость ВТП. При этом через АЦП на вход компьютера поступает информация от обоих каналов, а также от датчика перемещения проволоки. Проведенные испытания показали соответствие разработанного устройства предъявляемым требованиям.

Список литературы

1. *A. Shikov, V. Pantsyrny, A. Vorobieva, E. Dergunova, L. Vogdaev, N. Kozlenkova, K. Mareev, V. Tronza, V. Sytnikov, A. Taran, A. Rychagov.* Development of the Nb_3Sn bronze strand of TF Conductor Sample for testing in SULTAN Facility. – IEEE Transactions on Applied Superconductivity. – vol 19.– № 3.– 2009.–pp. 67–79.
2. *Шкатов П.Н., Тронза В.И., Фигуровский Д.К., Дергунова Е.А., Балаев С.М., Воробьева А.Е.* Применение вихревых токов для контроля сверхпроводников на основе соединения Nb_3Sn для ИТЭР при их производстве// Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии.– №4 (282).– 2010.– Орел. – С. 120-127.

05.19.02

А.Е. Кучма к.т.н., В.В. Шубина к.т.н., Е.Ю. Курныкина к.т.н.

Димитровградский инженерно-технологический институт –
филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ»,
г. Димитровград, anna_kuchma@mail.ru, shubv3@mail.ru, kurnykinaelena@mail.ru.

О ПУТЯХ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СПОСОБА ПОРОШКОВОГО КРАШЕНИЯ ШВЕЙНЫХ НИТОК В ПСЕВДООЖИЖЕННОМ СЛОЕ

В статье рассмотрен вариант усовершенствования способа крашения синтетических швейных ниток порошковыми красителями в псевдоожиженном слое. Предложены решения для улучшения качества окраски швейных ниток и увеличения производительности устройства, для порошкового крашения швейных ниток.

Ключевые слова: *текстильные материалы, швейные нитки, крашение, дисперсные красители, псевдоожиженный слой, моноэтаноламин, карбамид.*

Способ порошкового крашения, при котором краситель наносится на текстильный материал в виде твердофазной дисперсии, имеет целый ряд преимуществ по сравнению с традиционным способом, основанным на использовании красильного раствора.

Переход от жидкофазных красильных сред к процессам крашения в газовой среде позволяет значительно сократить расход воды и уменьшить загрязнение сточных вод, исключить из технологического процесса сложное красильное оборудование, что позволит высвободить рабочую силу и уменьшить производственные площади [7].

Особый интерес, в этой связи, представляет использование для порошкового крашения дисперсных красителей, характеризующихся крайне малой растворимостью в воде, но обладающих особенностью при определенных температурах (обычно выше 130 – 140^{o}C) сублимировать, образуя в зависимости от температуры и концентрации красителя насыщенные или ненасыщенные пары. В результате количество красителя, адсорбируемое полимерным материалом в безводной красильной системе, в 5-10 раз превышает максимальное поглощение красителя в условиях водного крашения, даже если значения насыщения экстраполируются к одним и тем же температурам. Эти специфические свойства дисперсных красителей нашли свое применение для крашения полиамидной и полиэфирной пряжи и швейных ниток в газовой фазе [5, 6], так называемой парофазной технологии.

Одним из преспективных способов нанесения порошковых красителей на текстильные материалы и, в частности, на швейные нитки является использование псевдоожиженного слоя порошков.

Для получения псевдоожиженного слоя красителей и нанесения их на швейную нить было использовано устройство, разработанное под руководством д.т.н. профессора Павутницкого В.В. и признанное изобретением [3, 4], схема которого представлена на рисунке 1.

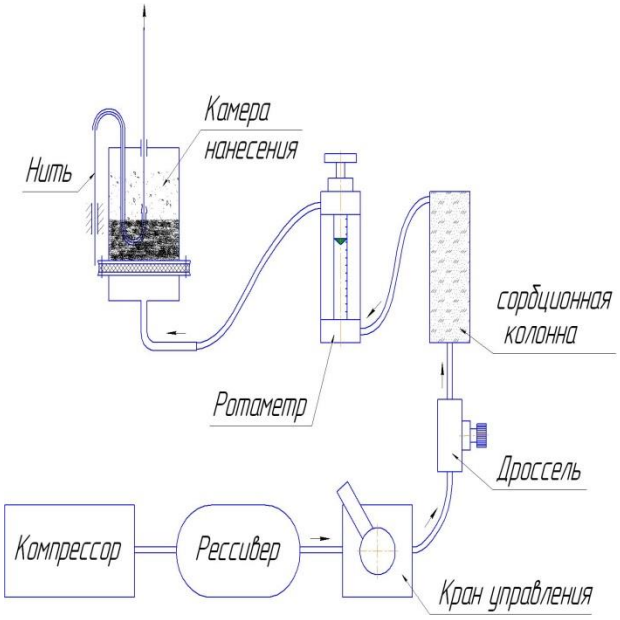


Рис. 1 - Устройство для образования псевдоожиженного слоя и нанесения порошкообразных красителей на швейную нить

Для экспериментов мы использовали порошки дисперсных красителей марок: «Дисперсный розовый 2С»; «Дисперсный алый 2Ж»; «Дисперсный синий 2 100%,» и «Дисперсный желтый 4 З 200%» производства ОАО «Пигмент» г. Тамбов [7], относящиеся к классу антрахиноновых красителей.

В качестве объектов исследования были выбраны швейные нитки марки 35ЛЛ (100% лавсан) с удельной поверхностью $11{,}08 \times 10^3$ м^2/м^3.

К основным факторам, оказывающим влияние на образование равномерного псевдоожиженного слоя из порошков красителей, помимо высоты насыпного слоя, скорости прохождения газа через слой красителя и размеров частиц порошка образующего слой, существенное влияние также оказывают – плотность насыпного слоя порошка красителя, площадь поверхности нити, скорость подачи нити, а также ускорение свободного падения. Следует заметить, что образование устойчивого псевдоожиженного слоя для дисперсных красителей наблюдается при скорости прохождения воздуха через слой красителя от 0,07 до 0,11м/с. Кроме того, отношение скорости движения нити через слой к скорости подачи воздуха $v_н / v_в$ необходимо выбирать из диапазона 0,25 - 0,4.

Одним из способов повышения производительности описанного выше устройства для крашения швейных ниток в псевдоожиженном слое является использование многониточной схемы обработки, что позволяет одновременно окрашивать две и более нити. Для этого необходимо изменение габаритов камеры крашения, и более частая подача в неё порошка красителя, для поддержания требуемой концентрации. Значение линейной скорости подачи воздуха через слой можно будет оставить прежним за счет корректировки отношения объемной скорости и площади поверхности.

Для увеличения количества частиц порошка дисперсного красителя, осевшего на швейных полиэфирных нитках в процессе прохождения ими псевдоожиженного слоя, последние предварительно пропитывали (до 20% влажного привеса) водными растворами моноэтаноламина (15%), раствором моноэтаноламина (15%) с добавлением пяти процентов глицерина и водным раствором карбамида (12%) [2].

Анализ полученных результатов показал, что, количество зафиксированного на швейной нити дисперсного красителя находится в обратной зависимости от количества красителя нанесенного на нить (рис. 2).

Рис. 2 – Зависимость количества зафиксированного на нити дисперсного красителя от количества красителя, нанесенного на нить.
Температура термообработки – 185°С, время термообработки – 180с.

Из приведенного графика также следует, что большое влияние на степень фиксации молекул красителя в полиэфирном волокне оказывает вид предварительной обработки швейной нити перед нанесением на нее порошка красителя в псевдоожиженном слое. Так, минимальная фиксация наблюдается на увлажненной швейной нити, а максимальная - на нити, обработанной раствором мочевины. Более 70% нанесенного красителя фиксируется и при обработке нити раствором моноэтаноламина с глицерином.

Усовершенствованием процесса крашения будет являться замена моноэтаноламина на триэтаноламин, так как его использование не дает пожелтения нитей при крашении в области повышенных температур [8, 9], что, в свою очередь, позволит окрашивать нитки и в цвета светлых оттенков.

Известно, что условия фиксации красителей в синтетических волокнах, в частности температура и соответственно время термообработки, зависят от химической природы волокнообразующего полимера (температуры размягчения и плавления), а также требуемой интенсивности окраски.

Проведенные эксперименты показали, что с увеличением температуры и времени термообработки количество зафиксированного в волокне красителя увеличивается, достигая практически сто процентной фиксации при температуре сублимации красителя (180°С) и времени термообработки 180 секунд [1].

Здесь следует заметить, что полная фиксация дисперсного красителя в волокнах швейной нити, достигается лишь в том случае, если количество нанесенного на нить красителя не превышает 5,8% от массы волокон в нити.

Используемый способ крашения швейных ниток и способ его усовершенствования, предлагаемый авторами, позволяет упростить сам процесс окраски швейных ниток и осуществлять окрашивание в условиях швейного производства в широкой гамме цветов.

Список литературы

1. *Кучма А.Е.* Исследование и разработка технологии порошкового крашения и металлизации швейных ниток в псевдоожиженном слое: автореф. дис. канд. техн. наук. - Санкт-Петербург, 2009. – С. 10.
2. *Moryganov Andrei, Baranov Alexander, Gubina Svetlana, Mesnik Oleg* / New composite preparation for the improvement of textiles. Bul. Inst. politehn. Lasi. Sec. 8 – 1992 – 38, № 1-4 – c. 95-102 – Англ.; рез. Рум.
3. Пат. № 2003132005/12 РФ. Устройство для крашения хлопчатобумажной пряжи и нити порошковыми красителями в смеси с гидротропными веществами. // Павутницкий В.В., Кормильцина А.Е.; заявитель и патентообладатель УлГТУ. – Опубл. 10.11. 2004. Бюл. №31.
4. Пат. № 2282691 С1 РФ, МПК D06B 1/02/ Устройство для крашения хлопчатобумажной пряжи и нити порошковыми красителями в смеси с гидротропными веществами в псевдоожиженном слое. // Павутницкий В.В., Кучма А.Е.; заявитель и патентообладатель УлГТУ. – Опубл. 27.08.2006. Бюл. № 24
5. Пат. № 2402650 С1 РФ: МПК D06B 3/04/ Устройство для крашения полиэфирной пряжи и нитей дисперсными красителями в их газообразном сосостоянии // Павутницкий В.В., Пейсахович А.А., Зенцов А.П.; заявитель и патентообладатель УлГТУ. – Опубл. 27.10.2010. Бюл. № 30. - 6 с.: ил.
6. *Пейсахович А.А., Павутницкий В.В.* Использование газоструйного насоса в парофазной технологии крашения синтетических швейных ниток // Швейная промышленность – 2011 - №3. – С. 36-37.
7. *Пейсахович А.А., Павутницкий В.В.* Парофазный способ крашения синтетических швейных ниток и пряжи // Текстильная промышленность № 4, М., 2010, С. 14 – 15.
8. *Шубина В.В.* Исследование и разработка технологии малосминаемой отделки хлопчатобумажных тканей многоосновными карбоновыми кислотами в пенной среде: автореф. дис. канд. техн. наук. - Санкт-Петербург, 2008. – С. 6.
9. *Шубина В.В.* Исследование и разработка технологии малосминаемой отделки хлопчатобумажных тканей многоосновными карбоновыми кислотами в пенной среде: дис. канд. техн. наук. - Санкт-Петербург, 2008. – С. 112.

05.14.03

Г.Э. Лазаренко, С.М. Тулин, В.В. Медведев

Государственный научный центр Российской Федерации –
Физико-энергетический институт им. А.И. Лейпунского,
г. Обнинск, ecs@ippe.ru

РАЗРАБОТКА АВАРИЙНОГО ИСТОЧНИКА ТОКА ДЛЯ АЭС

Проведено экспериментальное исследование работоспособности кольцевого термоэлектрического модуля в условиях внешнего или внутреннего подвода тепла конвекцией теплоносителя. Получены предварительные экспериментальные данные по эффективности кольцевого термоэлектрического модуля в условиях, приближенных к реальным для каналов аварийного расхолаживания реакторов БРЕСТ-ОД-300 и СВБР.

Ключевые слова: *термоэлектричество, электрофизический стенд, ядерный реактор.*

В 2012 году начата работа по созданию резервного источника тока, размещаемого внутри каналов аварийного расхолаживания ядерного реактора с тяжелым жидкометаллическим теплоносителем (ЖМТ). Выполнено экспериментальное исследование характеристик кольцевого термоэлектрического модуля (КТЭМ) в условиях внешнего и внутреннего теплоподвода за счет естественной конвекции расплава свинца при рабочей температуре канала аварийного расхолаживания реактора, характерной для реакторных установок БРЕСТ-ОД-300 и СВБР [1].

Испытания и исследования теплофизических и электрических характеристик КТЭМ проведены на стенде УСП-5М [2]. Стенд УСП-5М состоит из вакуумной (защитной) камеры с турбомолекулярным насосом ВМН-500, оснащенной сильноточными гермовводами, водяными и газовакуумными вводами, термопарными вводами и окнами, высоковакуумной системы с безмасляной системой откачки магниторазрядным насосом НОРД-250 и масс-спектрометром типа МХ-7304, газовой системы для напуска инертного газа (аргон, гелий, ксенон). Функциональная схема стенда приведена на рис. 1.

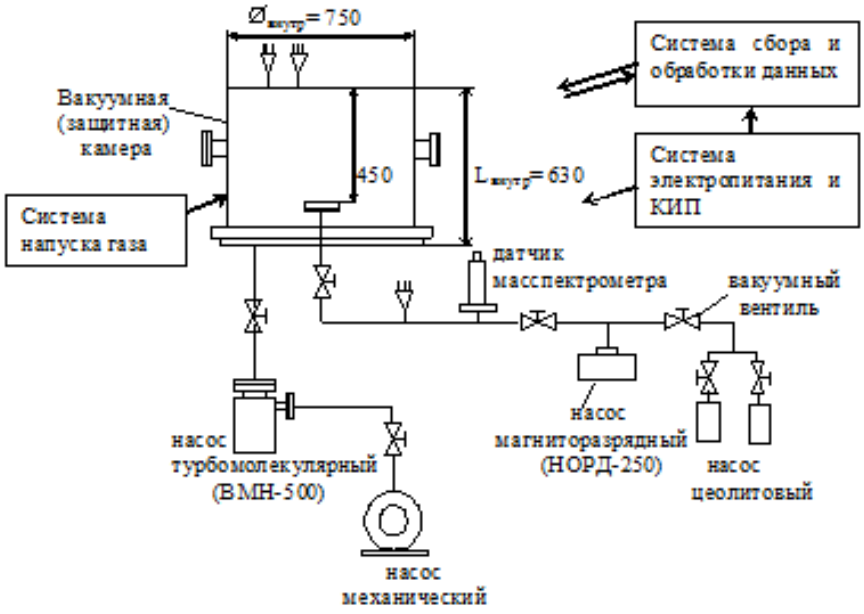


Рис. 1 - Функциональная схема испытательного стенда УСП –5М

Стенд УСП-5М оснащён измерительным комплексом регистрации и обработки экспериментальных данных на базе персонального компьютера и имеет системы электропитания и контрольно-измерительных приборов, обеспечивающих работу стенда, а также поддержание и изменение температурных режимов преобразователя при испытаниях КТЭМ. Вакуумная (защитная) камера позволяет проводить испытания как в высоком вакууме (на уровне 10-5 мм рт. ст.), так и в среде инертного газа (аргон, гелий, ксенон). Для автоматизированного сбора, предварительной обработки данных и отображения информации о температурных полях и ВАХ КТЭМ используется информационно-измерительный комплекс (ИИК).

Конструкция испытательного участка с нагревателями/охладителями КТЭМ представлена на рис. 2. Температурный режим КТЭМ обеспечивается размещением нагревателей/охладителей в ванне с ЖМТ – расплавом свинца, что создает оптимальные условия переноса тепла к поверхности КТЭМ от нагревателя и от второй поверхности к охладителю.

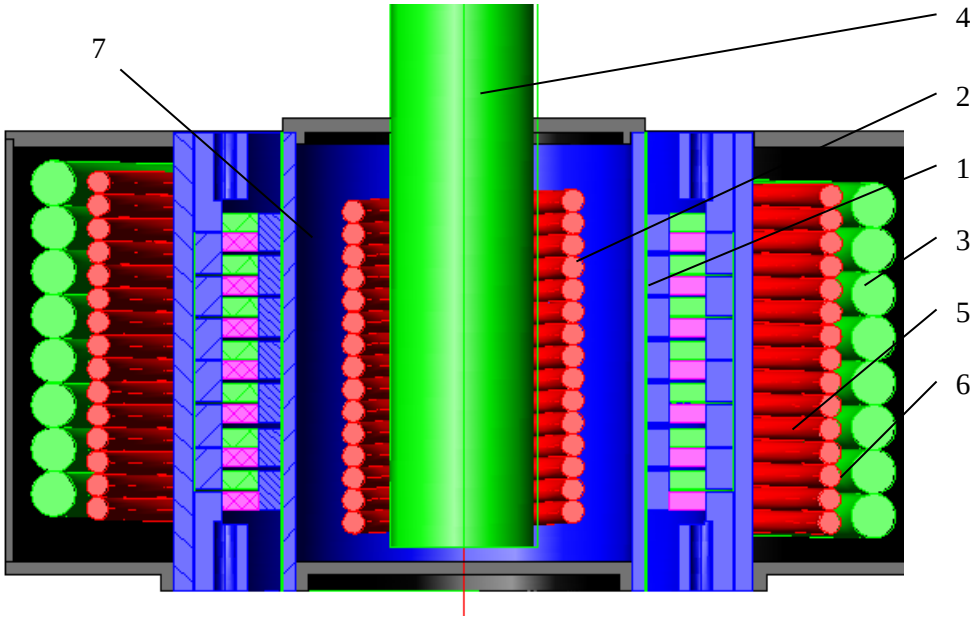


Рис. 2 – Конструкция испытательного участка КТЭМ: 1 – КТЭМ, 2- внутренняя полость с расплавом ЖМТ, 3- внешняя полость с расплавом ЖМТ, 4- термосифон внутреннего охлаждения, 5- внешний нагреватель, 6- внешний охладитель, 7- внутренний нагреватель

В рабочем участке применены нагреватели кабельные марки ЭНК-М 3.5950.2000.220 мощностью 2 кВт, уложенные в многослойную спираль (два слоя для внешнего нагревателя и три слоя для внутреннего). Охлаждение производится пропуском воды по кольцевым каналам с аксиальным зазором 1 мм, расположенным за нагревателями. В режиме внешнего теплоподвода включается внешний нагреватель и прокачивается вода по внутреннему охладителю, в режиме внутреннего теплоподвода - включается внутренний нагреватель и прокачивается вода по внешнему охладителю.

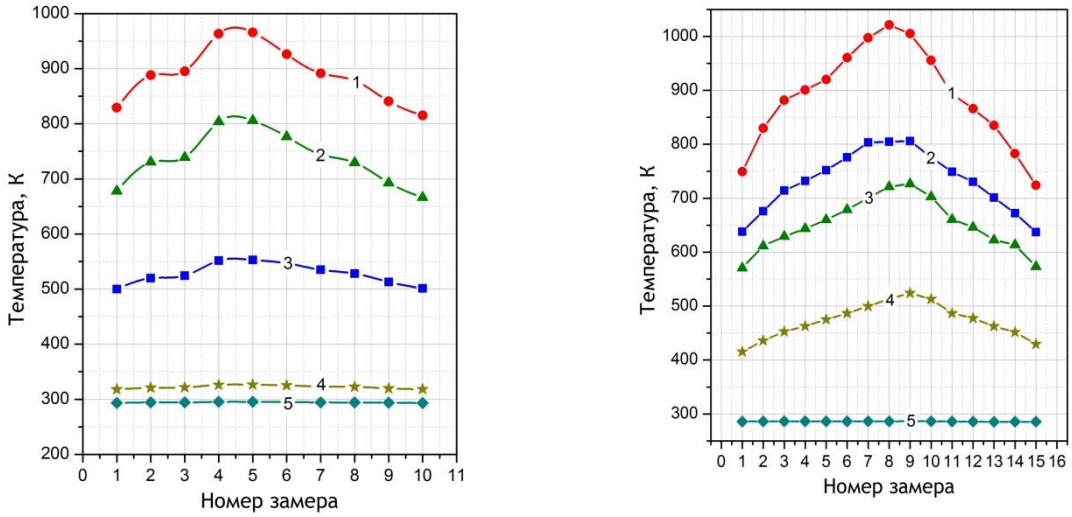
После установки на корпуса КТЭМ охладителей и нагревателей во внутреннюю и внешнюю полости устанавливалось по две очехлованные термопары и заливался расплав свинца. После его затвердевания полости с ЖМТ закрывались сверху массивными крышками для предотвращения всплытия нагревателей и термопар. На внешнюю обечайку крепились установочные конструкционные элементы и производилась обвязка КТЭМ термопарами.

Испытания КТЭМ проводились при температуре горячих оболочек до 1000К, холодных - до 500К. Рабочая газовая среда КТЭМ – аргон при давлении 760±50 мм рт. ст.

КТЭМ размещалась в испытательном участке стенда УСП-5М, его характеристики получены в двух режимах – при внутреннем и внешнем обогреве (получены послойные распределения температуры в структурных элементах КТЭМ (рис.3), получены ВАХ и

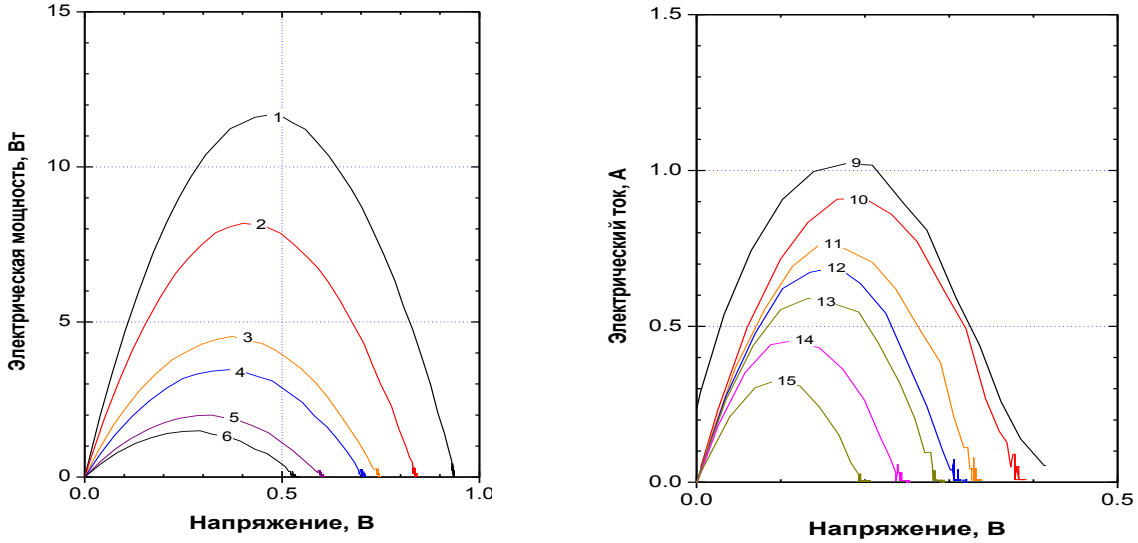
получены нагрузочные кривые в зависимости от температуры ЖМТ (рис. 4)).

Измерение внутреннего сопротивления КТЭМ при комнатной температуре до испытаний 0,025 Ом, после испытаний 0,030 Ом. В процессе испытаний КТЭМ выдержал по 4 термоцикла (подъем и спуск) со скоростью выхода на температурный режим ~ 0.6 град/сек при внешнем и внутреннем обогреве, что подтверждает сохранение работоспособности КТЭМ при термоциклировании и инвертировании радиального теплового потока. Использованные в КТЭМ в качестве электроизоляции между корпусными трубами и кольцевыми термобатареями прослойки из слюды обладают большим термическим сопротивлением, что не позволяет срабатывать располагаемый температурный напор термобатарее и снижает КПД преобразования.



внутренний нагрев внешний нагрев

Рис. 3 – Распределение температуры по структурным элементам КТЭМ : 1 – температура расплава ЖМТ, 2 – температура горячих спаев ($T_{ГС}$), 3 – температура холодных спаев (Тхс), 4 – температура теплоотвода, 5 – температура холодильника



внутренний нагрев внешний нагрев

Рис. 4 – Характеристики КТЭМ в зависимости от температуры ЖМТ ($T_{ГС}$ – температура горячих спаев, $T_{ХС}$ – температура холодных спаев): 1 – $T_{ГС}$=806 К, $T_{ХС}$=553 К; 2 - $T_{ГС}$=777 К, $T_{ХС}$=547 К; 3 - $T_{ГС}$=744 К, $T_{ХС}$=535 К; 4 - $T_{ГС}$=730 К, $T_{ХС}$=528 К; 5 - $T_{ГС}$=693 К, $T_{ХС}$=513 К; 6 - $T_{ГС}$=666 К, $T_{ХС}$=501 К, 9 – $T_{ГС}$=805 К, $T_{ХС}$=726 К; 10 – $T_{ГС}$=775 К, $T_{ХС}$=702 К; 11 – $T_{ГС}$=748 К, $T_{ХС}$=660 К; 12 – $T_{ГС}$=730 К, $T_{ХС}$=646 К; 13 – $T_{ГС}$=701 К, $T_{ХС}$=622 К; 14 – $T_{ГС}$=672 К, $T_{ХС}$=613 К; 15 - $T_{ГС}$=637 К, $T_{ХС}$=572 К

Проведенные исследования показали принципиальную возможность генерации электроэнергии кольцевыми термоэлектрическими модулями с отбором тепла от ЖМТ. Установлено, что среднетемпературные кольцевые термобатареи работоспособны при тепловых режимах, характерных для горячей стенки канала аварийного расхолаживания, и выдерживают теплосмены без потери работоспособности. Кольцевые среднетемпературные термобатареи допускают инвертирование радиального теплового потока с сохранением работоспособности.

Список литературы

1. *Жуков А.В., Кузина Ю.А., Сорокин А.П. и др.* Работы по реализации программы теплогидравлических исследований в РУ БРЕСТ и СВБР. Итоги научно-технической деятельности Института ядерных реакторов и теплофизики за 2011 год / Научно-технический сборник. - Обнинск. ГНЦ РФ-ФЭИ.2012.-412 с.

2. *Тулин С.М., Ярыгин В.И., Мелета Е.А. и др*. Исследования и испытания термоэлектрических высокотемпературных кремний-германиевых батарей радиально-кольцевой геометрии и модулей на их основе. Международная конференция «Ядерная энергетика в космосе-2005» / Сборник докладов в 3-х томах, том 2. ФГУП НИКИЭТ, М.-Подольск, 2005. -с. 349-355.

05.17.03

Е.Н. Минаев д.т.н.

Саратовский государственный технический университет,
Физико-технический факультет, кафедра физики,
Саратов, emin@sstu.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ КАТОДНОЙ ЗАЩИТЫ СТАЛИ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ВОДЕ

Представлены результаты исследования катодной защиты стали в имитате технологической сточной воды машиностроительного предприятия. Исследования проведены электрохимическим методом нелинейного поляризационного сопротивления. Получены значения защитных потенциалов и интенсивность коррозии при этих потенциалах.

Ключевые слова: *коррозия, катодная защита, нелинейное поляризационное сопротивление.*

Катодная поляризация нашла широкое применение для понижения скорости коррозии металла. Она применяется при защите конструкций и оборудования из стали, медных и алюминиевых сплавов в нейтральных и слабощелочных средах.

Первый аспект организации катодной защиты (математический) связан с расчётом электрического поля вдоль поверхности защищаемой конструкции (катода). Это даёт возможность определить радиус действия анода и другие параметры системы защиты. Данному вопросу посвящена обширная литература, в частности работы [1,2].

Второй аспект (электрохимический) заключается в определении потенциала на границе раствор − защищаемая поверхность и, соответственно, плотности внешнего тока на границе, которые обеспечили бы понижение скорости коррозии до приемлемых значений. Поскольку существует не одно значение защитного потенциала, а некоторый интервал, нужно определить зависимость вида

$$j_a = f(\varphi) \quad \text{или} \quad j_a = f(j) \quad , \qquad (1)$$

где j_a − плотность тока анодного растворения (скорость коррозии), φ − защитный катодный потенциал в приграничном слое, j − плотность защитного катодного тока, подаваемого на конструкцию. В настоящее время, зависимости вида (1) хорошо изучены для случаев защиты подземных сооружений, металлических конструкций и корпусов судов в морской воде, низкотемпературных (до 60^0C) теплообменных аппаратов, охлаждаемых морской водой. Но в связи с созданием новых термических технологий переработки высоко агрессивных водных сред, для которых есть основания считать применение катодной защиты целесообразным, количественные характеристики (1) почти не изучены. К таким технологиям можно отнести термическое (жидкофазное) окисление сточных вод для понижения их биологической и химической агрессивности, а в ряде случаев, и для повторного использования. Целью данной работы является определение зависимости скорости коррозии от величины защитной плотности внешнего тока в низкотемпературных элементах установки по очистке сточной воды машиностроительного завода. Исследование проводилось на основе использования электрохимического метода нелинейного поляризационного сопротивления [3].

Поясним этот метод на примере нелегированной стали в морской воде. Рассмотрим типичную катодную суммарную поляризационную зависимость (см. рис. 1). Характерным процессом катодной деполяризации в этих условиях является электрохимическое восстановление кислорода по реакции (2)

$$O_2 + 2H_2O + 4e^- \rightarrow 4(OH)^- \quad . \qquad (2)$$

Данная реакция при малых смещениях потенциала имеет активационный контроль, то есть тормозится стадией самого электровосстановления (участок 1 на рис.1). Дальнейшая катодная поляризация приводит к увеличению расхода, а затем к нехватке подводимого кислорода. Наиболее медленной стадией процесса становится диффузия кислорода к катоду, достигается предельный диффузионный ток (участок 2). На этом участке плотность тока растворения определяется в соответствии с методом нелинейного поляризационного сопротивления [3] по формуле

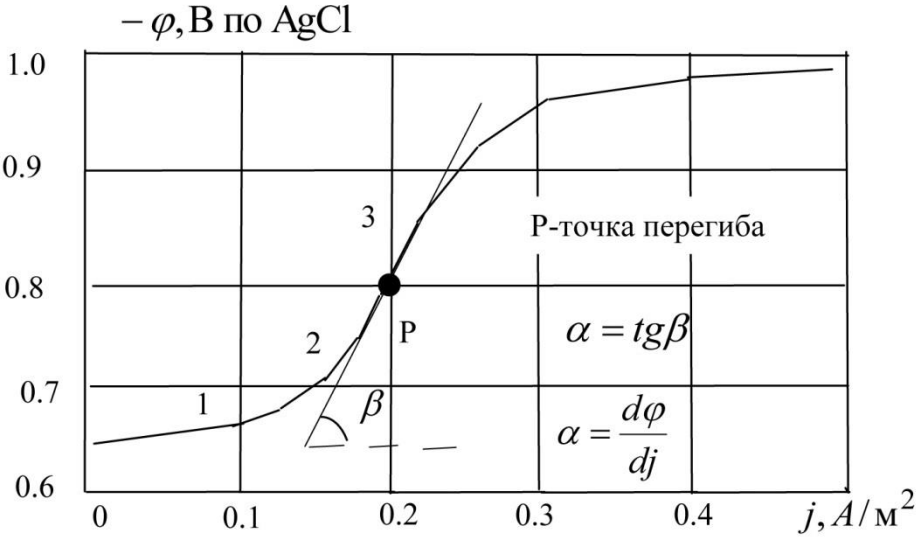


Рис. 1− Суммарная катодная поляризационная кривая.

$$j_a = \frac{b_a}{2.3} \frac{1}{\alpha(j)} \quad , \tag{3}$$

где b_a − константа Тафеля реакции анодного растворения, $\alpha(j)$ − удельная поляризуемость металла при данном значении j, определяемая из поляризационной кривой (см. рис.1).

Ещё большее смещение потенциала приводит к тому, что параллельно с восстановлением кислорода начинается электровосстановление водорода (участок 3). Данная реакция протекает по формуле

$$2H^+ \cdot H_2O + 2e^- \rightarrow H_2 \uparrow + H_2O \quad . \tag{4}$$

При этом наблюдается точка перегиба при переходе от участка 2 к участку 3. В области перегиба плотность тока растворения j_a^p определяется по формуле [3]

$$j_a^p = \frac{b_a^2}{2.3(b_a + b_k)} \cdot \frac{1}{\alpha^p} \quad , \tag{5}$$

где b_k − константа Тафеля реакции восстановление водорода, α^p − удельная поляризуемость в точке перегиба. Как показывают многочисленные исследования [3], катодная защита становится эффективной (достигается минимальный критерий защиты) при смещении потенциала на (100-150) мВ, т.е. в области точки перегиба, соответствующей переходу от кислородного диффузионного к смешанному кислородно-водородному контролю. Скорость коррозии уменьшается в 10 и более раз. Дальнейшее смещение потенциала приводит к интенсивному выделению водорода.

Эксперимент заключался в измерении катодных поляризационных кривых при прокачке через цилиндрический датчике из стали 10 имитата сточной воды со скоростью потока 0.2 м/с при температуре 25^0С, 60^0С. В качестве имитата использовался раствор, следующего состава на один литр воды: NH_4NO_3 − 133мг, $NaCl$ − 84.6мг, KCl − 18.1мг, NaH_2PO_4 − 53.5мг,

поверхностно − активные вещества − 20мг. Такой состав соответствует сточным водам предприятия машиностроительного профиля.

Измерения проводились по двухэлектродной гальваностатической схеме без использования электрода сравнения. Для того, чтобы пренебречь падением напряжения на аноде, его площадь была в 100 раз больше, чем у катода. Раствор имеет относительно низкую электропроводность (порядка 0.1 $Ом^{-1}м^{-1}$), в результате фактически определялась сумма двух разностей потенциалов: омической − в толще раствора и электрохимической − в приповерхностном слое защищаемой конструкции. Для исключения омической составляющей, сначала определяли суммарное удельное поляризационное сопротивление $\alpha_{сум}$ из поляризационных кривых при внешней плотности тока 0.1 $А/м^2$. Далее вычисляли омическую составляющую $\alpha_{ом}$ по формуле $\alpha_{ом} = (\alpha_{сум} - \alpha)$, где электрохимическое сопротивление α в приповерхностном слое было получено на основе применения методики, описанной в работе [4]. При 25^0С $\alpha_{ом}$ равно 0.157 Ом·$м^2$, а при 60^0С − 0.139 Ом·$м^2$. Далее поляризационные кривые пересчитывались по формуле $\Delta\varphi = (\Delta\varphi_{сум} - \alpha_{ом}\, j)$, где $\Delta\varphi_{сум}$− суммарная разность потенциалов между электродами. На рис.2 представлены пересчитанные поляризационные кривые. В таблицах 1 и 2 приведены результаты расчёта скорости растворения и степени защиты Р. Результаты свидетельствуют о высокой эффективности электрохимической защиты стали с сточной воде.

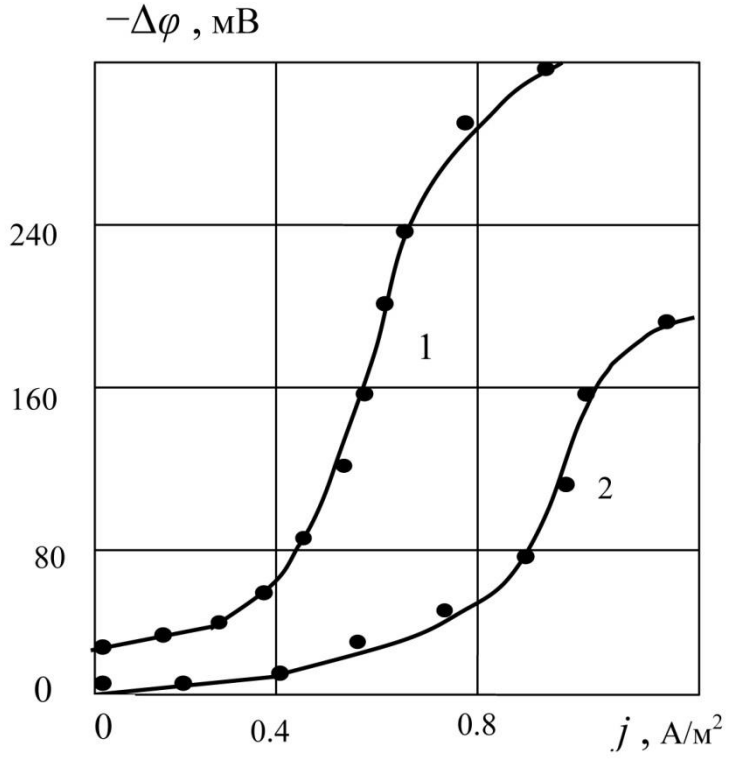


Рис. 2− Поляризационные кривые стали в имитате технологической воды:
кривая 1 − 25^0С, кривая 2 − 60^0С

Таблица 1− Катодной защиты стали в сточной воде при 25°С

$j, А/м^2$	α, Ом · $м^2$	$j_a, А/м^2$	Р,%
0	0.056	0.320	0
0.45-0.55	0.244	0.109	67
0.55-0.65	0.483	0.055	83
0.65-0.75	0.895	0.01	97

Таблица 2− Катодной защиты стали в сточной воде при 60°С

$j, A/м^2$	α ,Ом $\cdot м^2$	$j_a, A/м^2$	Р,%
0	0.034	0.585	0
0.75	0.094	0.317	46
0.85	0.32	0.093	84
0.95	0.40	0.025	96

Список литературы

1. *Минаев Е.Н.* Автоматизация систем защиты от коррозии на основе расчёта электрического поля при нелинейных граничных условиях // Вестник Саратовского государственного. технического. университета. – 2011. – №2 (56). Вып.2. – С.233-248

2. *Минаев Е.Н.* Метод расчёта поля в электрохимической системе щель − плоская поверхность // Вестник Саратовского государственного. технического. университета. – 2011. – №2 (58). Вып.2. – С.279-285

3. *Минаев Е.Н.* Математические и электрохимические методы контроля и прогнозирования коррозии металлов − Саратов: Издательство КУБиК, 2012. –134 с.: ил, ISBN 978-5-91818-243-7

4. *Минаев Е.Н, Царёв В.П.* Физико − математические основы автоматизированного управления в системах активной защиты от коррозии В.П. // Вестник Саратовского государственного. технического. университета. – 2010. – №3(48). Вып.2 – С.17-24

05.02.10

С.В. Наумов, А.Е. Канина, А.М. Игнатова, М.Н. Игнатов

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Механико-технологический факультет,
кафедра Сварочного производства и технологии конструкционных материалов,
Пермь, ignatovaanna2007@rambler.ru

О ФРАКЦИОННОМ СОСТАВЕ СВАРОЧНЫХ ФЛЮСОВ

Рассмотрены аспекты влияния фракционного состава сварочных материалов на качество шва. Установлено, что с уменьшением размера гранул в их смеси примерно одинакового размера пористость смеси повышается за счет увеличения трения и устойчивости, «прочности» смеси.

Ключевые слова: *сварочные материалы, гранулы, формирование гранул, флюс, минеральное сырье, дисперсность*

Сварочный, флюс, используемый при дуговой сварке никеля, представляет, собой зернистый структурно-неоднородный материал, смесь гранул различной формы и размеров. На параметры, характеризующие качество получаемого сварного шва, неизбежно оказывает влияние микрогеометрия насыпного гранулированного флюса, зависящая прежде всего от фракционного, состава (соотношения количеств гранул различных размеров в смеси). Один из таких параметров — отношение массы расплавленного флюса к массе расплавленной проволоки (относительная масса $K_ф$ флюса). Полнота перехода легирующих элементов из проволоки и флюса в металл шва, химический состав и конечные свойства наплавленного металла, а также эффективность защиты расплавленного металла и количество вредных выделений, сопутствующих сварочному процессу, зависит от соотношения прореагировавших количеств проволоки и флюса, взаимодействующего с металлом на стадии капли и ванны. Количество расплавленного флюса определяется в первую очередь режимом и условиями сварки [1]. Относительная масса флюса $K_ф$ уменьшается при увеличении сварочного тока и растет при повышении напряжения дуги и скорости сварки. Более тугоплавкий флюс имеет меньшие значения $K_ф$. Но последняя, зависит и от микрогеометрии гранулированного флюса, определяемой прежде всего его фракционным составом.

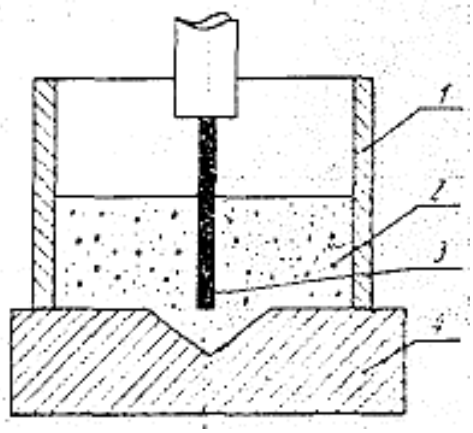


Рис. 1. Схема переплава керамического флюса в форме:
1 – трубка, 2 – навеска флюса, 3 – электрод, 4 - медная подкладка

Цель данной работы - предварительное определение областей оптимального гранулометрического состава флюса (размеров частиц во фракциях зернистого материала, объемного соотношения фракций в нем), который обеспечивал бы максимальную величину

$K_ф$. Эксперимент проводили следующим образом. В специальную металлическую форму (рис. 1) засыпали навески с постоянной массой (20 г) гранулированного флюса [2], которые переплавлялись неподвижной дугой. В процессе переплава на постоянном токе обратной полярности режим поддерживали постоянным: напряжение на дуге 30 ± 2 В, сварочный ток 200 + 10 А, время горения дуги 15 с. Замеряли массу полученного сварочного, шлака $G_{шл}$. Эксперимент сначала провели на следующих фракциях флюса с размером гранул, мм: I—<0,5; II — 0,5—0,8; III — 0,8—1,25; IV—1,25—1,60; V—1,60—3,0 (табл. 1). Следующим этапом были эксперименты для смесей двух фракций: I и V, I и IV (табл. 2).

Для характеристики гранулометрического состава флюса выбрали два фактора, изменения которых могут оказывать влияние на ход реакций в сварочном керамическом флюсе: s — отношение: общей площади поверхности гранул в единице объема флюса к объему гранул; p — коэффициент пористости, т.е. отношение объема пор в гранулированной смеси к объему твердой фазы. Если приведенные диаметры гранул во фракции не слишком отличаются друг от друга (узкая фракция), то удельная поверхность обратно пропорциональна среднему размеру зерна в пределах каждой узкой фракции. Коэффициент пористости для узких фракций оценивали приближенно, считая его примерно равным таковому для случайной упаковки шаров одного диаметра (монофракционная смесь). Известно, что в этом случае $p \sim 0{,}6$. Точных формул, позволяющих провести расчеты параметра для многофракционных смесей, не существует. Его можно оценить экспериментально или, численным моделированием случайной упаковки. Авторы [4, 7] предложили методику приближенной оценки этого параметра для двух- и многофракционных смесей. Она обобщена в [3-5] для; случая, когда приведенные диаметры частиц внутри фракций имеют разброс. Определим коэффициент пористости для двух-фракционных смесей [6].

Таблица 1

Результаты опытов для отдельных фракций

Фракция	Размер гранул, мм	Средний диаметр, мм	Удельная поверхность, s, $мм^{-1}$	$G_{ШЛ}$,г
I	<0,5	0,48	12,5	7,6
II	0,5-0,8	0,72	8,4	7,1
III	0,8-1,25	1,1	5,4	6,8
IV	1,25-1,60	1,5	4,1	5,8
V	1,6-3,0	2,7	2,2	4,9

Он является функцией объемного соотношения фракций, коэффициентов пористости отдельных; фракций и соотношения размеров частиц во фракциях. Примем следующие обозначения: V_c—насыпной объем гранулированного материала; V_T — общий объем твердой фазы; $V_{K:}; V_м$ —объем крупной и мелкой фракции; V_n — объем пор в гранулированном материале; $V_K = V_K/V_T = V_K\ (V_K + V_M)$— объемная доля крупной, $X_м$ —мелкой фракций, $X_к + X_м = 1$; D_K, D_M — приведенные диаметры крупной и мелкой фракций; $p_К$, $p_М$ — их: коэффициенты пористости.

Таблица 2

Результаты опытов для смеси фракций

Параметр	I и V			I и IV		
I-я смесь,%	75	50	25	75	50	25
p	0,49	0,38	0,31	0,53	0,46	0,45
$G_{ШЛ}$,г	6,63	6,66	7,84	7,12	5,83	6,3
s, $мм^{-1}$	9,9	7,4	4,8	10,4	8,3	6,2

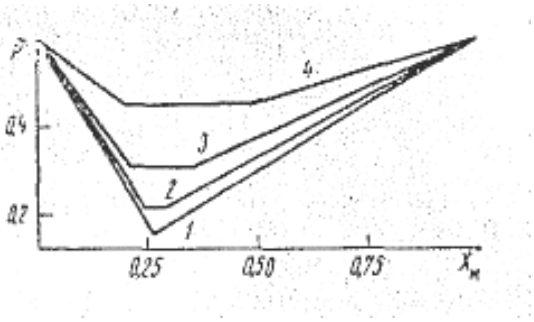


Рис. 2. Коэффициент пористости двухфракционных смесей для различных соотношений средних диаметров гранул.:1 —0,02; *2*~0,08; 3 — 0,17; *4*~6,33.

Воспользовавшись приведенными в [4] приближенными зависимостями, найдем коэффициент пористости смеси

$$p = \begin{cases} X_K \cdot p_K + X_M[k_2 \cdot (1+p_M) - 1] \\ X_M \cdot p_M + X_K \cdot k_1 \cdot p_K \\ X_K \cdot p_K + X_M \cdot p_M - K_3 \dfrac{p_K(1-p_M)}{1+p_K+p_M} \end{cases} \quad (1)$$

График зависимости $p(X_M)$ при различных соотношениях $\psi = D_M/D_K$ приведен на рис. 2 ($p_м = P_к = 0,6$). Коэффициенты k_1, k_2, k_3, представляют собой функции параметра $\psi = D_M/D_K$

$$k_1 = \frac{\psi \cdot (1+2\psi)}{\psi(1+2\psi)+(1-\psi)^2} \quad (2)$$

$$k_2 = \frac{\psi^2 \cdot (3+\psi)}{\psi^2(3+\psi)+(1-\psi)^2} \quad (3)$$

$$k_3 = \frac{(1-\psi)^2}{\psi(1+5\psi)+(1-\psi)^2} \quad (4)$$

Из рис. 2 видно, что при X_M~25 % параметр пористости принимает значение, минимальное для данного соотношения диаметров частиц мелкой и крупной фракций. Для проверки влияния р проведены опыты для различных соотношений фракций I (<0,5 мм) и V (1,6—3,0 мм)—25, 50 и ,75 % мелкой фракции, и фракций I и IV (1,25—1,6 мм). В табл. 2 даны расчетные оценки для удельной поверхности и коэффициента пористости. Результаты эксперимента показали вторую область, где $G_{ШЛ}$ максимально в области низкого коэффициента пористости (там где 25 % объема занимает мелкая смесь). Теория подсказывает, что коэффициент, пористости можно еще снизить, уменьшив отношение диаметров мелкой и крупной фракций. Поэтому фракцию I (<0,5 мм) отсортировали на три более узкие: 0—0,16; 0,16—0,25; 0,25—0,50 мм. Для монофракционных смесей этих фракций результаты опытов дали несколько неожиданные, результаты: $G_{ШЛ}$ соответственно составила 4,8; 6,45; 6,15 г. Результаты свидетельствуют о том, что зависимость $G_{ШЛ}$ от s при постоянном *p* немонотонна. Для более широкой фракции <0,5 мм параметр *p,* очевидно, меньше, чем для узких. Это подтверждается и теоретическими исследованиями [3]. Необходимо отметить, что, как указано в [1], с уменьшением размера гранул в их смеси примерно одинакового размера пористость смеси повышается за счет увеличения трения и устойчивости, «прочности» смеси. Поэтому очередной задачей является определение коэффициента пористости с целью более точного анализа экспериментальных данных, а также более достоверная, чем по среднему диаметру, оценка величины удельной поверхности. Это позволит продвинуться еще ближе к оптимальному составу, фракций.

Список литературы

1. *Будинков П.П., Гинстлинг А.М.* Реакции в смесях твердых веществ. М.: Стройиздат, 1971.
2. *Ерохин Л.А.* Основы сварки плавлением. Физико-химические закономерности. М.: Машиностроение, 1973.
3. *Иванов В.А., Мошев В.В., Шишкин В.А.* Плотность упаковки сыпучих сред//Структурная механика неоднородных сред. Свердловск, 1982. - С. 19—27.
4. *Игнатова А.М.* Современные методы определения фракционного состава сварочных порошковых материалов// Научно-технический вестник Поволжья. - №3, 2012. –129-133 с.
5. *Наумов С.В., Игнатова А.М.* Исследование физико-химических процессов, протекающих при сварке в сварочных материалах на основе техногенных образований // Научно-технический вестник Поволжья. – 2012. – № 4. – С. 150-153.
6. *Wiencowski A., Strek F.* Porowatosi mieszanin rial sypkich. Mieszaniny dwuskladnikowe//Chem. stos.owana. 1966.. V. 1. B. P.- 95-127.
7. *Wienckowski A., Strek F.* Porowatosi.rial.sypkich. Mieszaniny wieloskladnikowe//Chem. stosowana. 1966. V. 4; B. P. 431—447.

05.02.10

С.В. Наумов, А.Е. Канина, А.М. Игнатова, М.Н. Игнатов

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Механико-технологический факультет,
кафедра Сварочного производства и технологии конструкционных
Пермь, ignatovaanna2007@rambler.ru

ФОРМИРОВАНИЕ ГРАНУЛ КЕРАМИЧЕСКОГО ФЛЮСА ИЗ ТЕХНОГЕННЫХ ОБРАЗОВАНИЙ МЕСТОРОЖДЕНИЙ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ В ВОЗДУШНОМ ПОТОКЕ СКОРОСТНОГО СМЕСИТЕЛЯ-ГРАНУЛЯТОРА ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ

Рассмотрены схемы формирования гранул сварочных флюсов, гранулирующих устройств для высокоинтенсивного гранулирования, расчет течения воздушных потоков в камере скоростного смесителя-гранулятора и оптимальные параметры гранулирования керамического флюса на основе техногенных образований минерального сырья габброидной и базальтоидной групп.

Ключевые слова: *сварочные материалы, гранулы, гранулирование в воздушном потоке, формирование гранул, флюс, минеральное сырье.*

Использование керамических сварочных флюсов известно [1] и находит современное применение. Гранулирование керамических флюсов относится к так называемым низкореакционным методам получения сварочных материалов. Однако, применительно к сварочным материалам из техногенных образований месторождений минерального сырья габброидной и базальтоидной группы [2,3] высокоинтенсивное гранулирование с целью малотоннажного производства недостаточно изучено и мало освоено.

Настоящая работа предлагает обзор схем формирования гранул, гранулирующих устройств, а применительно к высокоинтенсивному гранулированию моделирование и расчет течения воздушных потоков в камере скоростного смесителя-гранулятора, конструкцию гранулятора периодического действия и оптимальные параметры гранулирования керамического флюса на основе техногенных образований минерального сырья габброидной и базальтоидной групп.

Одним из основных факторов, определяющих свойства гранул является форма, размер и степень полидисперсности частиц исходных материалов, входящих в состав гранул [4-7, 10].

Гранулирование может осуществляться со связующим и без него. В качестве связующих при получение гранул в аппаратах высокоинтенсивного воздействия на формуемую массу может использоваться целый ряд химических соединений [4].

Образование и существование гранул является результатом взаимодействия механических, капиллярных и электростатических сил, которые возникают между частицами формуемого материала [1]. Эти связи классифицированы в работах [1].

В традиционных гранулирующих устройствах (барабанных, тарельчатых) формирование сферических гранул происходит путем «закатывания» в основном под действием сил тяжести [1]. Однако, процесс получения гранул на традиционных аппаратах идет достаточно долго, прочность и плотность гранул остается не высокой. При этом не достигается гомогенности гранул при использование многокомпонентных смесей.

Одним из путей повышения интенсивности процесса закатывания является использование при гранулировании сил инерции. При этом скорость процесса образования роста гранул значительно повышается, для этого разработан ряд устройств, которые по типу движения поверхности формирующих органов можно разделить на вибрационные, планетарные и ротационные (центробежные и роторные) [1].

Моделирование и расчет течения воздушных потоков в камере скоростного смесителя гранулятора дисперсных систем. Процесс гранулообразования в камере скоростного роторного гранулятора обусловлен характером воздушного вихревого потока, создаваемого лопастью гранулятора и имеет свои особенности, связанные со значительной величиной центробежных, осевых, окружных сил, развивающихся в этих аппаратах. Благодаря действию этих сил, а так же сил трения образующиеся гранулы прижимаются в вертикальной стенке смесительной камеры поднимаются по ней на определенную высоту и затем под действием силы тяжести скатываются вниз на дно смесительной камеры. Перемещение гранул по вертикальной стенке смесительной камеры гранулятора определяется не только результирующим действием перечисленной системы сил, но и динамикой и геометрией поведения вихревого потока в смесительной камере [4].

Траектория движения образующейся гранулы зависит от физических свойств гранулируемого материала (дисперсность, шероховатость, форма частиц и т.д.), технологических параметров процесса гранулирования (число оборотов ротора, форма лопасти, геометрия смесительной камеры и т.д.). Расчет конструктивных и технологических параметров скоростного лопастного гранулятора сводится к определению формы и размера смесительной камеры, скоростного вращения ротора и геометрии лопасти [11].

Принимаем, что на гранулу формирующегося флюса, находящуюся в движущемся потоке действуют (рис. 1):

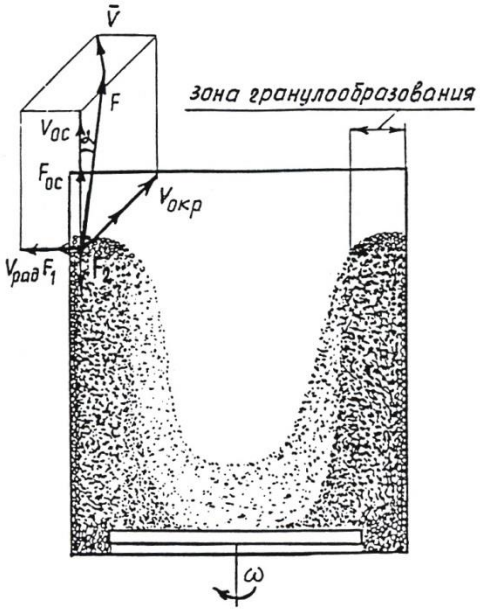


Рис.1. Схема сил действующих на частицу в камере скоростного роторного гранулятора

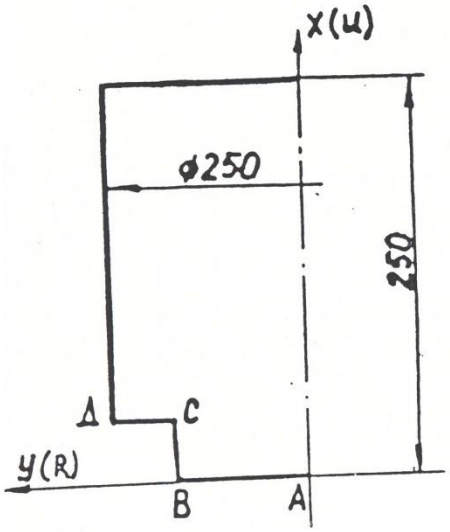


Рис. 2. Расчетная схема рабочей камеры гранулятора (границы АВСД). Вращается граница АВСД со скоростями v_1=750 об/мин, v_2 = 1500 об/мин, v_3=3000 об/мин

центробежная сила $F_1 = m\omega^2 R$;
сила тяжести $F_2 = mg$;
сила трения $F = m\omega^2 R tg\varphi$;
где m - масса гранулы, ω - угловая скорость гранулы, R - радиус смесительной камеры гранулятора; tgφ - коэффициент внутреннего трения. Проекция этих сил на вертикальную плоскость составляет:

$$F_{ос} = F_2 + F_3 = mg + m\omega^2 R tg\varphi Cos\alpha \quad (1)$$

где:

$$Cos\alpha = V_{ос} / (V_p^2 + V_{окр}^2 + V_{ос}^2) \quad (2)$$

Из уравнения (1) видно, что конструктивными и технологическими параметрами гранулятора являются ω, R, а параметрами технологического процесса гранулирования $F_{ос}$ и

cosα. Из уравнения (1 и 2) видно, что на величину осевой силы можно влиять конструктивными особенностями рабочего органа (лопасти) гранулятора.

Величина зоны гранулообразования, по-видимому [8], определяется толщиной тора, образующегося на вертикальной стенке смесительной камеры и зависящего от характеристики воздушного потока, создаваемого в грануляторе. Значение полей скоростей и давлений воздушного потока в грануляторе возможно оценить расчетным путем, используя двух параметрическую (K-ε) модель турбулентности. В этой модели, основанной на концепции турбулентной вязкости, на ряду с уравнениями количества движения решаются уравнения для кинетической энергии K и скорости ее диссипации ε [4]. Общий вид уравнений следующий (расчетная схема рабочей камеры на рис. 2):

$$\frac{D_k}{D_t} = \frac{d}{dX_j}\left[\left(\frac{\upsilon_t}{\sigma_k} + \upsilon\right)\frac{dK}{dX}\right] + \upsilon_t\left(\frac{dV_i}{dX_j} + \frac{dV_j}{dX_i}\right)\frac{dV_i}{dX_j} = \varepsilon \tag{3}$$

$$\frac{D_\varepsilon}{D_t} = \frac{d}{dX_j}\left[\left(\frac{\upsilon_t}{\sigma_e} + \upsilon\right)\frac{d\varepsilon}{dX_j}\right] + c_1{}^{v}\left(\frac{dV_i}{dX_j} + \frac{dV_j}{dX_i}\right)\frac{dV_i}{dX_j} - c_2\frac{\varepsilon^2}{K} \tag{4}$$

где константы σ_k=1,0; σ_e=1,3; C_1=1,44; C_2=1,92; C_μ =0,09; $v=C\mu K^2/\varepsilon$.

Граничные условия: - на стенках камеры осевая, окружная и радиальная компоненты скорости равны 0; - на оси вращения радиальная и окружная скорости равны 0; - вращается граница АВСД с заданной скоростью 750, 1500, 3000 об/мин; R = 250 мм. При расчете, вся зона течения была разбита на ячейки с неравномерной сеткой, содержащей 50 узлов по оси X и 9 узлов по радиусу R. Кроме того, расчетная схема имела сгущения там, где велики градиента средних параметров, т.е. в пристеночных и приосевых зонах.

Расчет производился по методике Патанкара-Сполдинга [9], основанной на интегрировании уравнений по одной ячейке или контрольному объему, и согласовании потоков на границе контрольных объемов. Поле давлений рассчитывалось по алгоритму SIMPLE, осевая и радиальные составляющие скорости и давления вычислялись в разных местоположениях, что возможно с применением шахматной сетки. Поэтому не нужно задавать давление на границах, если определены нормальные составляющие скорости.

В результате расчета для трех фиксированных скоростей вращения границы АВСД были получены:

- распределение давления (рис. 4);
- распределение компоненты скорости – радиальная, окружная, осевая (рис. 3).

Осевая скорость в направление от боковой стенки к оси имеет величину, близкую к нулю, а затем она начинает резко возрастать, а на расстояние от боковой стенки 19 мм при n_1= 750 об/мин, 24 мм при n_2= 1500 об/мин, 30 мм при n_3=3000 об/мин меняет свой знак, образуя обратный ток. Профиль окружной скорости слабо меняется по длине камеры. Профиль радиальной скорости имеет максимум на длине 50 мм от днища и на расстояние 100 мм меняет свой знак. Давление начинает нарастать на расстоянии 70 мм от оси вращения, достигая максимума в пристеночной зоне. Анализ картины трения показывает, что процесс гранулообразования может идти только в пристеночной зоне шириной от 19 до 30 мм и высотой от 50 до 100 мм, в зависимости от скорости вращения границы АВСД. Следовательно, ширина активной части рабочего органа (лопасти) должна быть не более 30 мм, что соответствует действительности.

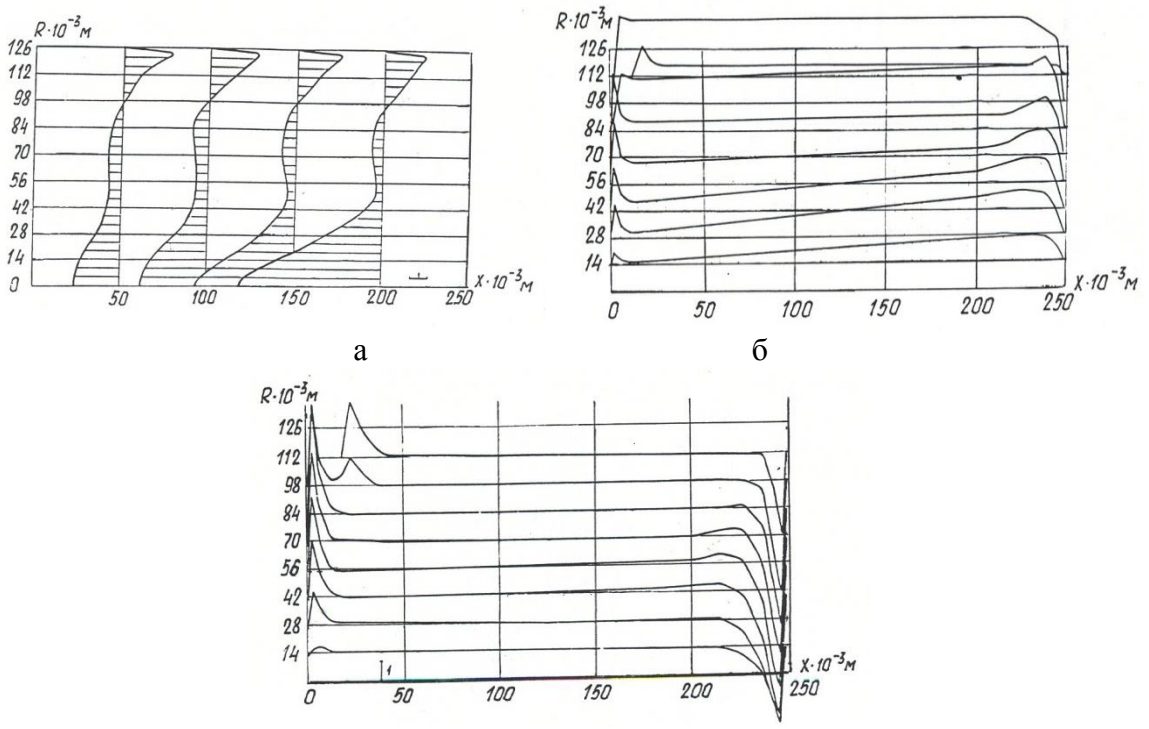


Рис. 3. Распределение компоненты скорости:
а – распределение осевой компоненты скорости ($n_{АВСД}$=3000 об/мин),
б - распределение окружной компоненты скорости ($n_{АВСД}$=3000 об/мин),
в - распределение радиальной компоненты скорости ($n_{АВСД}$=3000 об/мин)

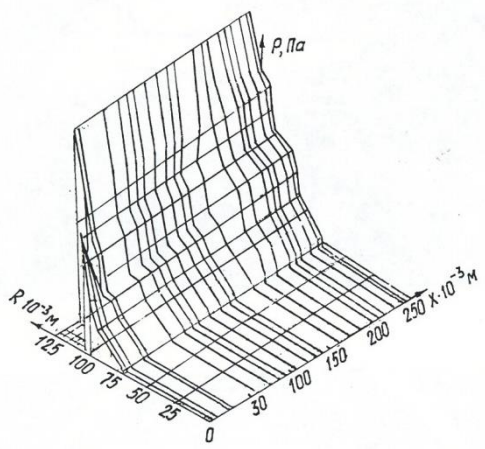
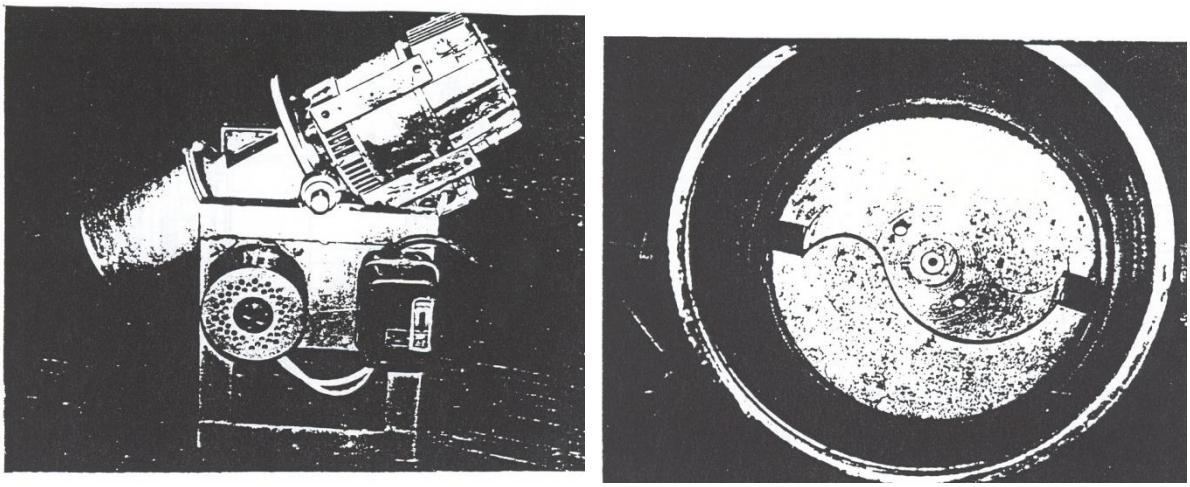


Рис. 4. Распределение давления ($n_{АВСД}$=3000 об/мин)

Таким образом, представленная физическая модель, математическое описание условий гранулообразования при высокоскоростном гранулировании в замкнутом объеме, приведенная методика расчета течения воздушных потоков позволяет определить область интенсивного взаимодействия дисперсных частиц в пристеночной зоне шириной 0,3R и высотой R применительно к роторным грануляторам, что обеспечивает научно-обоснованный подход по оптимизации режимно - конструктивных параметров процесса интенсивного гранулирования.

Конструкция гранулятора и оптимизация параметров гранулирования керамических флюсов на основе техногенных образований месторождений минерального сырья. Для определения оптимальных режимов эксплуатации и конструктивных параметров рабочей части лопасти, проведены испытания опытного образца гранулятора периодического действия (рис. 5).



а б

Рис. 5. Вид опытного образца гранулятора периодического действия:
а – общий вид, б – вид лопасти и камеры гранулятора

Гранулированию подвергли дисперсную систему керамического флюса: смеси порошка техногенных образований габброидной группы с размером фракции менее 400 мкм. В качестве связующего использовано жидкое стекло, которое подавали через форсунку, при этом скорость вращения рабочих лопастей составляла 1500 об/мин, а продолжительность интенсивного перемешивания 2-3 мин. За параметр оптимизации режимов эксплуатации гранулятора было принято значение величины текучести гранулированного керамического флюса, определяемое по известной методике, путем истечения 50 г порошка через отверстие конусной емкости за единицу времени. Гранулометрический состав и текучесть порошка керамического флюса от параметров рабочей части лопасти гранулятора приведены в табл. 1.

Из табл.1 видно, что при угле наклона рабочей части лопасти к днищу менее 30° и более 45° происходит изменение соотношения фракций гранулометрического состава получаемого гранулированного продукта, что приводит к снижению его текучести.

При угле поворота рабочей части лопасти в радиальной плоскости менее 45° и более 20° также происходит изменение соотношения фракций гранулометрического состава, получаемого гранулированного продукта, что приводит к снижению текучести и в конечном итоге улучшению технологичности.

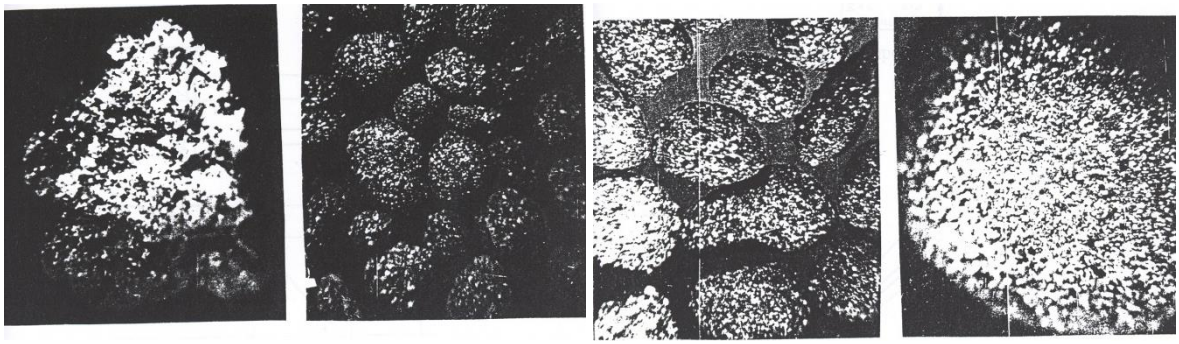
Выполнение рабочего органа гранулятора периодического действия по вышеизложенным условиям (табл. 1) создает воздушный поток с такими скоростно-напорными характеристиками, которые обеспечивают наиболее полное гранулирование.

Таблица 1

Зависимость гранулометрического состава и текучести гранулированного порошка керамического флюса от конструктивных параметров рабочей лопасти гранулятора

α/β	Содержание фракций (%) соответствующего размера				Текучесть, 50 г/с
	>1,25 мм	>0,63 мм	>0,25 мм	<0,25 мм	
90°/20°	15,5	13,0	20,0	51,5	50
45°/20°	13,5	12,5	30,0	44,0	48
40°/20°	6,0	8,5	47,5	38,0	29
30°/20°	17,0	15,5	34,0	33,5	47
40°/40°	17,5	20,0	40,0	24,5	45
40°/30°	17,5	22,5	42,5	17,5	43
40°/10°	10,0	17,5	43,0	29,5	27
40°/2°	8,5	11,0	50,0	30,5	29
35°/5°	21,0	15,0	41,5	22,5	40

Проведенные исследования по высокоинтенсивному гранулированию дисперсных систем позволили разработать и изготовить гранулятор, общий вид которого приведен на рис. 5. С использованием этого гранулятора получена партия гранулированного керамического флюса для механизированной дуговой сварки стали обыкновенного качества. Установлено, что максимальный выход целевой фракции гранулированного материала порядка 80-85% соответствует свое оптимальное число оборотов ротора и количества связующего (поливиниловый спирт, парафин, жидкие стекло) 5-10% от массы гранулы. При исследовании технологических свойств гранулированных материалов применительно к условиям сварки, оценивали газопроницаемость, коэффициент пористости, удельную поверхность свободной насыпки слоя гранулированного керамического флюса. С учетом влияния вышеперечисленных технологических характеристик определена область оптимального гранулометрического состава флюса, которая соответствует 22-23% по массе гранул с фракцией менее 0,5 мм и 78-77% соответственно фракции с размером гранул 1,6-3,0 мм (рис. 6).



а б в г

Рис. 6. Вид гранул керамического флюса монофракционного состава:
а – «протертый» флюс (3,5 мм), б – размер гранул < 0,5 мм,
в – размер гранул 0,8-1,25 мм, г – размер гранул > 0,3 мм

Таким образом, представленная физическая модель и численное описание условий гранулообразования при высокоинтенсивном гранулировании, предложенные научно-обоснованные рекомендации по оптимизации режимно-конструктивных параметров интенсивного гранулирования, а также полученные эксплуатационно-функциональные характеристики гранулированного керамического флюса на основе техногенных образований минерального сырья габброидной и базальтоидной групп. гранулирования керамического флюса на основе техногенных образований минерального сырья габброидной и базальтоидной групп показывают целесообразность использования высокоинтенсивного гранулирования в малотоннажном производстве сварочных материалов с комплексом заданных свойств.

Список литературы

1. *Петров Г.Л.* Сварочные материалы: Учеб. пособие для вузов. – Л.: Машиностроение, 1972. – 280 с.
2. *Игнатова А.М., Наумов С.В., Игнатов М.Н., Пушкин С.А., Суслов С.Б.* Оценка пригодности и доступности базальтоидных и габброидных комплексов западного Урала (Пермский Край) для производства сварочных материалов// Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение. - 2010. Т. 12. № 4. - С. 104-116.
3. *Игнатова А.М., Игнатов М.Н., Наумов С.В.* Применение дифференциальной сканирующей калориметрии для оценки минерального сырья пермского края в производстве сварочных материалов// Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение. - 2011. Т. 13. № 4. - С. 107-116.
4. *Наумов С.В., Игнатова А.М.* Исследование физико-химических процессов, протекающих при сварке в сварочных материалах на основе техногенных образований// Научно-технический вестник Поволжья. - 2012. № 4. - С. 150-153.
5. Патент на изобретение RUS 2448824 29.03.2011 Шихта для получения сварочного плавленного флюса. Авторы: Игнатов Михаил Николаевич, Игнатова Анна Михайловна, Наумов Станислав Валентинович.
6. *Игнатова А.М., Наумов С.В.* Исследование доли летучих компонентов при термическом разложение сварочных материалов на основе синтетических минеральных сплавов// В сборнике: Материалы международной конференции «Исследование материалов с использованием методов термического анализа, калориметрии и сорбции газа». - Санкт-Петербург, 2012. - С. 45-47.
7. *Игнатов М.Н., Игнатова А.М., Наумов С.В., Корниенко Е.Е., Чумаченко А.Ю.* Исследование зависимости коэффициентов термического расширения металла шва и сварочных шлаков от температуры в диапазоне 100 - 1000 °С// Обработка металлов: технология, оборудование, инструменты. - 2012. № 3. - С. 116-119.
8. *Классен П.В., Гришаев И.Г., Шимонин И.П.* Гранулирование. – М.: Химия, 1991. – 240 с.
9. *Патанкар С.* Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости/ Пер. с англ. М.: Энергоиздат, 1984. – 152 с.
10. *Наумов С.В.* Современные методы определения гранулометрического состава порошкообразных компонентов сварочных материалов// Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение. - 2012. Т. 14. № 1. - С. 76-84.
11. *Игнатов М.Н.* Физико-химические основы получения и применения карбидосодержащих материалов для сварки никеля. Автореферат диссертации доктора технических наук. Пермь, 1998.- 38 с.

05.19.02

А.А. Пейсахович к.т.н., Е.М. Веденева к.т.н., Г.В. Семенченко к.т.н.

Димитровградский инженерно-технологический институт –
филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ»,
г. Димитровград, aapejsakhovich@mephi.ru, ved_em@mail.ru, masalama@yandex.ru

К ВОПРОСУ О ПОВЫШЕНИИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПАРОФАЗНОГО КРАШЕНИЯ ШВЕЙНЫХ НИТОК

В статье рассмотрен способ парофазного крашения синтетических швейных ниток дисперсными красителями в их газообразном состоянии с использованием разработанного устройства. Установлена возможность повышения производительности устройства для крашения путем изменение ландшафта насыпной поверхности дисперсного красителя.

Ключевые слова: *текстильные материалы, швейные нитки, крашение, дисперсные красители, парофазное крашение.*

Парофазное крашение синтетических швейных ниток, состоящих из полиэфирных и полиамидных волокон, парами дисперсных красителей является новым направлением красильного производства.

К наиболее важным и положительным преимуществам парофазной технологии крашения можно отнести ее экологичность, обеспечиваемую отсутствием сточных вод в процессе крашения, снижение энергозатрат, сокращение времени крашения и уменьшение производственных площадей [3].

Перенос красителя в волокно не через водный раствор, а путём перевода его в сублимированное состояние, является наиболее важным отличием парофазной технологии от существующих периодических и непрерывных способов. По своей физической сущности способ представляет собой адсорбцию пара красителя на поверхности раздела, твёрдое тело – пар [4, 5]. Поскольку вещества, находящиеся в газовой фазе [1], обладают более высокой свободной поверхностной энергией, их адгезия к материалу значительно выше, чем при использовании красителей в виде водных растворов.

Для реализации технологии парофазного крашения требуется специализированное оборудование. На сегодняшний день известны лишь несколько аппаратов и устройств для крашения ткани и пряжи в газовой фазе. К их числу относится устройство для крашения синтетических швейных ниток дисперсными красителями в их газообразном состоянии [6], разработанное на кафедре «Разработка одежды специального назначения» ДИТИ НИЯУ МИФИ под руководством д.т.н. профессора Павутницкого В.В.

Принципиальная схема устройства показана на рисунке 1. Воздушная камера 2 служит для подачи сжатого воздуха и находится в нижней части цилиндрического корпуса 3. В камере крашения 1 находится нагревательный элемент 6 и красящий порошок дисперсного красителя 7. Для подачи нити 8 в камеру крашения 1 служит верхний направляющий ролик 9, находящийся перед входным нитепроводом 4. Для выхода нити из камеры крашения предусмотрен нижний направляющий ролик 10, расположенный после выходного нитепровода 5.

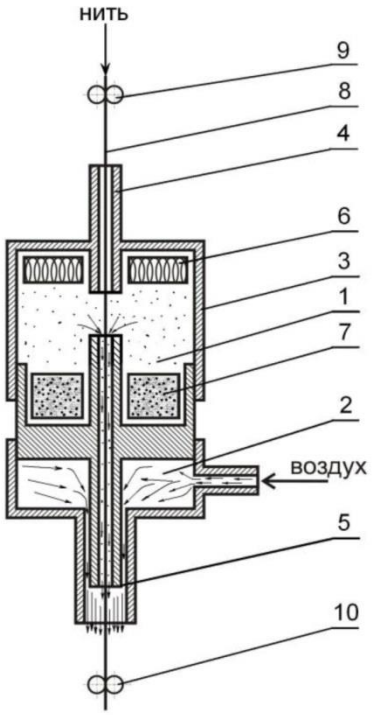


Рис. 1 - Устройство для крашения синтетических швейных ниток дисперсными красителями в их газообразном состоянии

Для выявления закономерностей, характеризующих процесс парофазного крашения швейных ниток дисперсными красителями с использованием разработанного устройства, был проведен ряд экспериментальных исследований.

В качестве объектов исследования были выбраны полиэфирные швейные нитки № 45 ЛЛ и полиамидные швейные нитки № 50 К. Степень интенсивности окраски нитей оценивали по изменению светлоты L* [7, 8], которую определяли с помощью спектрометра Techkon SP – 810 [9]. Светлота неокрашенных ниток составила: для лавсановой L*нач.л. = 85,47; для капроновой L*нач.к = 77,46.

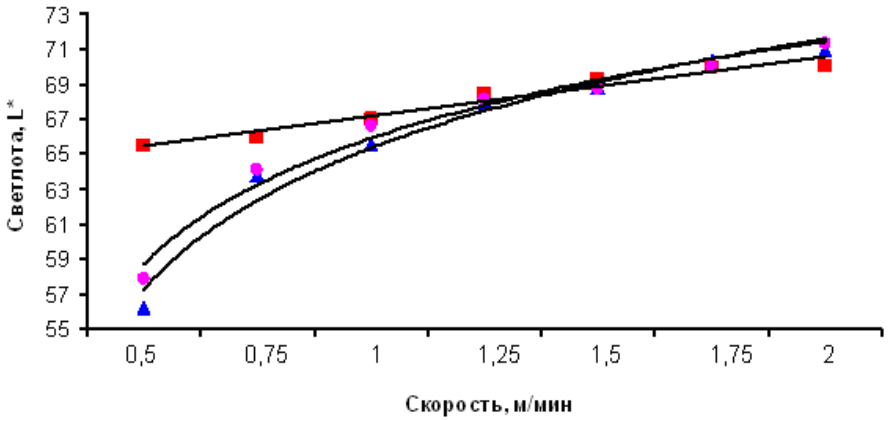
Для парофазного крашения были использованы порошки дисперсных красителей [2] марок: «Дисперсный розовый 2С»; «Дисперсный алый 2Ж» и «Дисперсный синий 2 100%,» производства ОАО «Пигмент» г. Тамбов.

Анализ результатов проведенных экспериментов показал, что наиболее важным фактором, оказывающим существенное влияние на интенсивность окраски, является скорость прохождения нити через камеру крашения. При этом было установлено, что при более низких скоростях крашения интенсивность окраски выше (рис. 2).

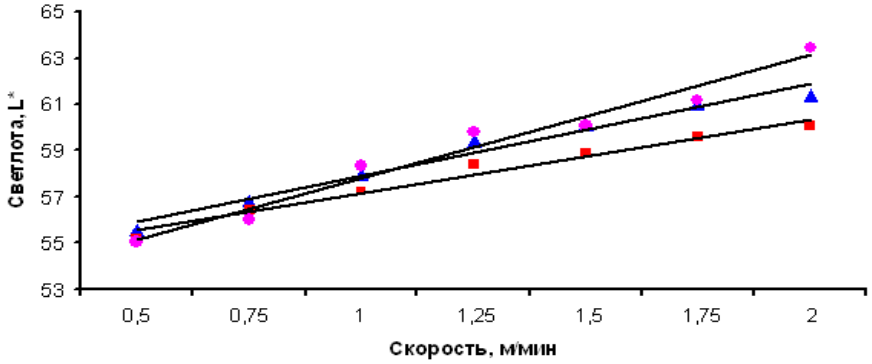
Однако при практическом применении устройства необходимо учитывать соотношение интенсивности окраски с производительностью устройства.

Производительность процесса парофазного крашения зависит от k - соотношения эффективной площади поверхности красителя $S_{кр}$. к площади боковой поверхности окрашиваемой нити $S_{н}$.

Нами достоверно установлено, что чем выше это соотношение, тем больше вероятность быстрого заполнения вакантных мест на открытом участке поверхности нити длиной $L_{н}$ наночастицами дисперсного красителя.



а)



б)

Рис. 2 - Зависимость светлоты от скорости продвижения
а) полиэфирная швейная нить № 45 ЛЛ: ● - дисперсный розовый 2,
■ - дисперсный алый 2Ж, ▲ - дисперсный синий 2 100%.
б) полиамидная швейная ниткь № 50: ● - дисперсный розовый 2,
■ - дисперсный алый 2Ж, ▲ - дисперсный синий 2 100%.
Температура в камере крашения – 195 ^{o}C; давление атмосферное

Величина:

$$k = S_{кр} / S_{н},$$

где: $S_{кр}$ - площадь открытой поверхности порошка красителя мм²;

$S_{н}$ - площадь боковой поверхности окрашиваемой нити мм².

$S_{кр}$ и $S_{н}$ зависят от конструктивных размеров устройства: l – максимальная высота насыпной поверхности дисперсного красителя, $L_{н}$ – длина окрашиваемой нити, d – диаметр выходной трубки и D – диаметр камеры крашения, причем эти размеры в устройстве являются *const* (рис. 3), тогда:

$$S_{н}=\pi d_{н} L_{н}=73{,}27 \text{ мм}^2$$

$$S_{кр}=\pi D^2/4-\pi d^2/4=7673{,}4 \text{ мм}^2$$

Отсюда можем определить $k=104{,}7$.

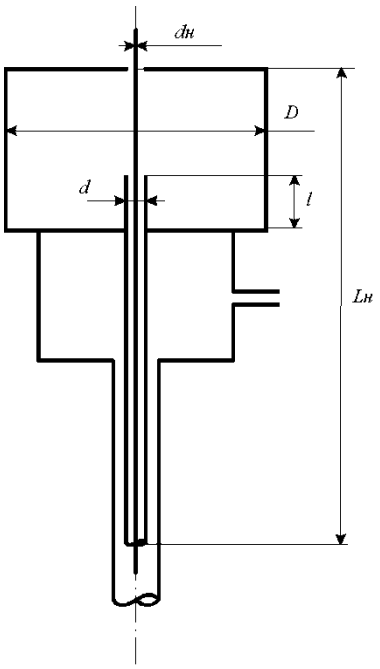


Рис. 3 – Схема камеры крашения устройства

Путем экспериментальных исследований нами установлено, что достигнуть увеличения производительности, в нашем случае скорости прохождения нити, можно путем увеличения $k \geq 104,7$, которое происходит при любом объемном изменении ландшафта насыпной поверхности порошка дисперсного красителя.

Список литературы

1. *Кучма А.Е., Павутницкий В.В.* Вывод критериального уравнения для анализа и расчета количества порошка красителя, нанесенного на швейные нитки в псевдоожиженном слое // Швейная промышленность – 2008 - №1. – С. 50-52.

2. *Кучма А.Е.* Исследование и разработка технологии порошкового крашения и металлизации швейных ниток в псевдоожиженном слое: автореф. дис. канд. техн. наук. - Санкт-Петербург, 2009. – С. 4.

3. *Пейсахович А.А., Павутницкий В.В.* Использование газоструйного насоса в парофазной технологии крашения синтетических швейных ниток // Швейная промышленность – 2011 - №3. – С. 36-37.

4. *Пейсахович А.А., Павутницкий В.В.* Парофазный способ крашения синтетических швейных ниток и пряжи // Текстильная промышленность № 4, М., 2010, С. 14 – 15.

5. *Пейсахович А.А., Романов В.Е.* Определение устойчивости к истиранию синтетических швейных ниток окрашенных парофазным способом // Дизайн. Материалы. Технология № 5, С Пб., 2011, С. 22 – 25.

6. Пат. № 2402650 С1 РФ: МПК D06B 3/04/ Устройство для крашения полиэфирной пряжи и нитей дисперсными красителями в их газообразном со состоянии // Павутницкий В.В., Пейсахович А.А., Зенцов А.П.; заявитель и патентообладатель УлГТУ. – Опубл. 27.10.2010. Бюл. № 30. - 6 с.: ил.

7. *Пейсахович А.А., Павутницкий В.В.* К вопросу о крашении швейных ниток дисперсными красителями в их газообразном состоянии / Всероссийская научно-техническая конференция "ДНИ НАУКИ" Санкт – Петербург, 2010, С. 108-109.

8. *Пейсахович А.А.* Исследование и разработка процесса парофазного крашения швейных ниток: автореф. дис. канд. техн. наук. - Санкт-Петербург, 2012. - 16 с.

9. *Шубина В.В.* Исследование и разработка технологии малосминаемой отделки хлопчатобумажных тканей многоосновными карбоновыми кислотами в пенной среде: автореф. дис. канд. техн. наук. - Санкт-Петербург, 2008. – С. 4.

05.02.22

В.Л. Попов, Б.Ю. Антонов, А.М. Игнатова

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Механико-технологический факультет,
кафедра Сварочного производства и технологии конструкционных материалов,
ООО «Первоуральский завод горного оборудования»,
Пермь, ignatovaanna2007@rambler.ru

КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЛИНИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И ТЕРМИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ЛИТЕЙНЫХ ФОРМ В ПРОИЗВОДСТВЕ ПЕТРУРГИЧЕСКИХ ОТЛИВОК

В статье изложены материалы по организации линии изготовления, сушки и прокалки разовых песчано-глинистых форм для петрургического литья.

Ключевые слова: *Петургия, каменное литье, силикатный расплав, минеральное сырье, сушка форм*.

Значительная часть петрургических отливок имеет простую геометрическую форму, так основную массу продукции почти 60% составляют литые футеровочные абразиво- или термостойкие плиты [1]. Простая конфигурация позволяет в значительной степени автоматизировать процесс изготовления литейных форм, а потому поиск технологических решений для этих целей является актуальным.

В настоящей работе рассматривается выбор оборудования для линии по изготовлению и термической подготовке литейных форм в производстве петрургических отливок и его конструктивно-технологическая характеристика.

Процесс подготовки разовых песчано-глинистых литейных форм для изготовления отливок из синтетических минеральных сплавов делится на два основных этапа, включающих непосредственно изготовление литейных форм и их термическую обработку, включающую сушку и прокалку, поскольку заливка осуществляется в формы нагретые до температуры 650-700 °С [2].

Рассматривая процесс изготовления литейных форм для производства плитки следует уточнить, что, наиболее рациональным способом является изготовление открытых литейных форм [3]. Открытые формы подразумевают отсутствие литниковой системы; отпечаток формирующий контур отливки имеет одну свободную поверхность, через которую и проводится заливка, то есть форма не делится на две половины верхнюю и нижнюю. Литейные формы такого типа проектируют таким образом, что бы в одной форме можно было бы получить сразу несколько отливок, например, от 5 до 10 штук; для этого используются опоки размером 1000х800 мм [4].

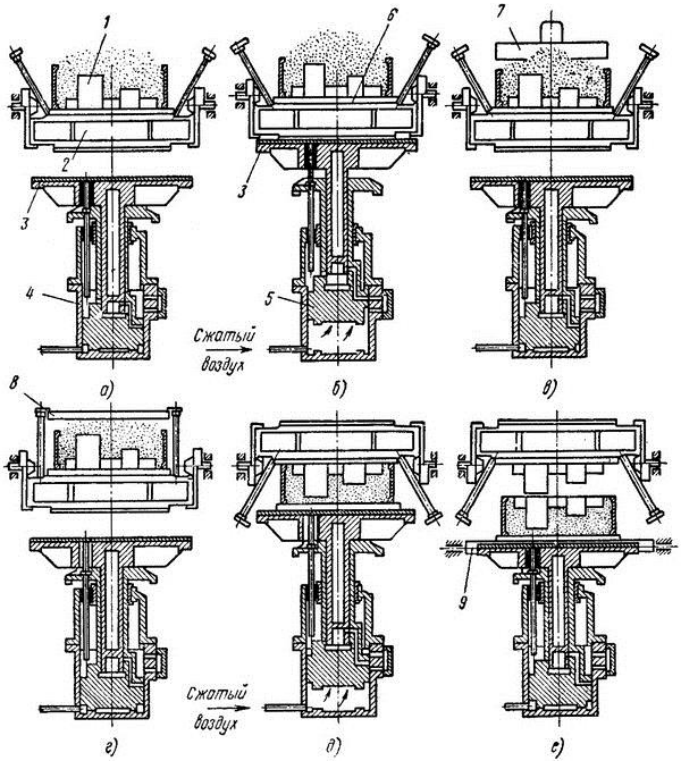


Рис. 1. Кинематическая схема машины типа 254М и др.:
а — насыпка смеси в опоку, б — встряхивание, в — срезание скребком лишней формовочной смеси, г — наложение подопочного щитка и его зажим, д — поворот стола и прессование, е — вытяжка модели; 1 — модель, 2 — поворотный стол, 3 — встряхивающий стол, 4 — станина, 5 — прессовый поршень, 6 — модельная плита, 7 — скребок, 8 — зажим, 9 — приемный рольганг

Для формовки используются единые формовочные смеси следующего состава: песок марки Ж0063 – 90%, глина 10%. В качестве связующего используют воду. Дозировка составляющих компонентов формовочных смесей объемная, замес смеси осуществляется в катковых бегунах (мод. 15107М).

Для изготовления литейных форм используются встряхивающие формовочные машины с допрессовкой и поворотным столом. В эту группу входят машины моделей 253М, 254М и 255, которые обычно применяют для производства нижних полуформ по односторонним модельным плитам [5]. Общий вид и принцип работы представлен на рис. 1.

Основные узлы машины, а именно, встряхивающий механизм и прессующее устройство, смонтированные в станине 4, состоят из встряхивающего стола 3, отлитого вместе с поршнем, и прессового поршня 5, служащего одновременно цилиндром для поршня встряхивающего стола.

Поворотный механизм состоит из поворотного стола 2, стоек, серьги, рычага, пневмоцилиндра. Стойки прикреплены к станине 4. Стол поворачиваемся на 180° на цапфах, опирающихся на сухари, смонтированные в головках стоек. При встряхивании сухари скользят по направляющим планкам.

Для удаления излишка смеси с опоки по окончании встряхивания на левой стойке машины имеется скребок 7, приводимый в движение пневмоцилиндром с системой рычагов. Для закрепления опоки на поворотном столе и предохранения ее от падения при повороте служат пневмозажимы 8, вмонтированные внутрь поворотного стола.

Работа машин происходит следующим образом. На поворотном столе 2 устанавливается подмодельная плита 6 с моделями нескольких плит 1 и направляющими штырями, после чего устанавливается опока, которая наполняется формовочной смесью. Включается встряхивание. Воздух из магистрали поступает под прессовый поршень 5 и поднимает его вверх до упора в полукрышки. Вместе с пресс-поршнем поднимается встроенный в него

встряхивающий стол 3, который, дойдя до поворотного стола, поднимает его на 5-15 мм и производит встряхивание. Продолжительность встряхивания регулируется пневматическим реле времени. По окончании уплотнения встряхиванием пресс-поршень со встряхивающим столом опускается в исходное положение. С помощью скребка 7 машины удаляется излишек смеси, и скребок возвращается в исходное положение. На опоку укладывается подопочный щит и пневмозажимами прижимается к опоке. С помощью цилиндра поворота через рычаг и серьгу опока вместе со столом кантуется на 180°. Включается прессование с вибрацией. Усилие прессования через поворотный стол и щеки передается на стойки. Через 5-7 с после раскрытия зажимов 8 производится вытяжка модели. В конце хода вытяжки, опока укладывается на роликовый конвейер машины, откуда затем перемещается на цеховой роликовый конвейер 9. Стол возвращается в исходное положение.

Изготовленная таким образом литейных форма, готова к сушке и прокалке. Этот процесс является длительным и двухступенчатым. Формы загружают в печь при температуре 50—60°С, высушиваются при температуре до 200° С, а затем прокаливаются до температуры 800—900 °С [6]. Время сушки и прокалки форм составляет порядка 8 ч. Поскольку это длительный процесс, выполнение его в производственных условиях в периодическом режиме приведет к снижению производительности, поэтому рекомендуется использовать печи непрерывного действия, к таковым относятся туннельные печи. Используется газовая туннельная толкательная печь (рис. 2) [7].

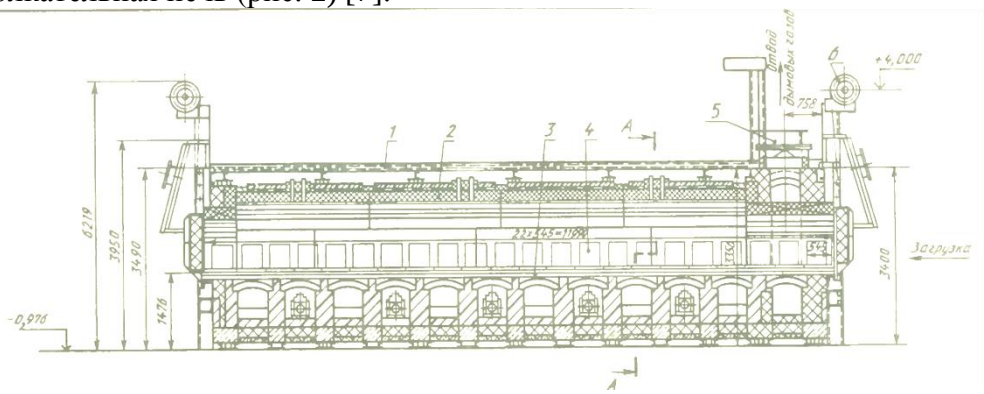


Рис. 2. Схема печи для сушки и прокалки литейных форм в производстве петрургических отливок: 1 – каркас печи, 2 – футеровка, 3 – подовые направляющие, 4 – литейная форма, 5 – вытяжная система, 6 – механизм подъемной заслонки

Конструкция печи предусматривает непрерывный режим работы, одновременно в печи может находиться 40 форм. Перед загрузкой в печь литейные формы с помощью рольганга устанавливаются на тележке размером 1000х1500х500 мм, которая в дальнейшем с формами движутся по рельсовому пути вдоль пространства печи. Нагрев атмосферы печи производится с помощью газовых горелок, печь разделяется на две зоны: в первой градиент температур составляет 50-200°С, а во второй 200-700°С. Разница температур в разных зонах обеспечивается различным количеством горелок. Для футеровки используется динасовый кирпич. Размеры загрузочного окна составляют 1200х1700х800 мм.

Прокаливание форм снижает до минимума газотворность смеси, поскольку петрургический расплав обладает низкой теплопроводностью, его затвердевание в форме замедленно, а это осложняет выход газов из формы. Однако, самое главное, что прокаливание форм снижает перепад температур по сечению отливки и температурные напряжения [8].

На выходе из печи температура литейных форм достигает в наружных слоях 700°С и более, а в глубине форм у поддона температура достигает 250-300°С. В дополнения к требованиям, смеси для форм каменного литья должны обладать способностью сохранять достаточную объемную и поверхностную прочность в широком интервале температур нагрева.

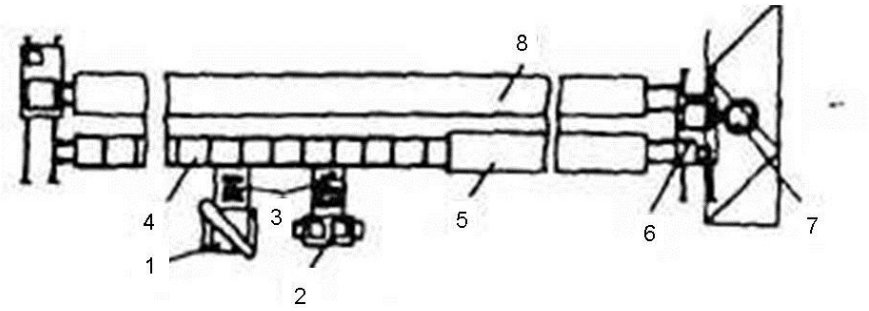


Рис. 3. Схема линии по изготовлению и подготовке литейных форм для получения петрургических отливок: 1 и 2 – формовочные машины, 3 – рольганг, 4 – тележка, 5 – сушильно-прокалочная печь, 6 – кристаллизационно-охладительная печь

На рис. 3 представлена общая схема и основные элементы планировки производства плитки в подогретые песчано-глинистые литейные формы, в том числе линия изготовления и термической подготовки литейных форм в производстве петрургических отливок.

Таким образом, в настоящей работе показана линия по изготовлению и термической подготовке литейных форм в производстве петрургических отливок и конструктивно-технологическая характеристика основных элементов этой линии.

Список литературы

1.*Игнатова А.М., Чернов В.П.* Многотоннажная технология переработки металлургических шлаков и отходов горно-обогатительных комбинатов (ГОК) в литые силикатные материалы для различных сфер промышленности, промышленного, гражданского и дорожного строительства//Ползуновский альманах. - № 3 т. 2, 2009. – с. 129-131.

2.*Чечулин В.А., Ковалев Ю.Г., Новиков А.И., Коваленко В.Г.* О плавке петрургических шихт в дуговых элеткропечах// ИзвВУЗов СССР. Серия «Химия и химические технологии». - №12, 1967. – с. 1371-1375.

3.*Игнатова А.М., Черных М.М., Попов В.Л., Каминский М.М.* Эстетика и технология изготовления камнелитых плит// Дизайн. Материалы. Технология. – 2010, № 2. - С. 37-43.

4.*Чернов В.П., Долгополова Л.Б.* Производство отливок из неметаллических материалов: Учебное пособие. Гриф УМО по образованию в металлургии. - Магнитогорск: МГТУ, 2002. - 257 с.

5.*Игнатов М.Н., Шундиков Е.Н., Игнатова А.М., Шундиков Н.А., Николаев М.М.* Конструкция лабораторной малогабаритной электродуговой установки для плавки фторфлогопита «ДКПП-05». – Тезисы докладов юбилейной НТК «Современные организационные, технологические и конструкторские методы управления качеством». – Пермь: ПГТУ, 2006. – с. 135-137.

6.*Игнатова А.М., Попов В.Л., Антонов Б.Ю., Игнатов М.Н.* Конструктивно-технологическая характеристика опытно-промышленной малогабаритной дуговой печи для плавки петрургического сырья// Научно-технический вестник Поволжья. - №1, 2013. – с. 54-59.

7.*Игнатова А.М.* Закономерности формирования и разделения металлической и силикатной фаз расплава при условиях восстановительного плавления техногенного металлургического и нерудного сырья// Научно-технический вестник Поволжья. - №5, 2012. – с. 188-193.

8.*Чечулин В.А., Ковалев Ю.Г., Новиков А.И., Коваленко В.Г.* Отливка футеровочных плит в подогретые песчаные формы// Литейное производство. - №8, 1966. – с. 13-16.

05.02.22

В.Л. Попов, Б.Ю. Антонов, А.М. Игнатова, М.Н. Игнатов

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Механико-технологический факультет,
кафедра Сварочного производства и технологии конструкционных материалов,
ООО «Первоуральский завод горного оборудования»,
Пермь, ignatovaanna2007@rambler.ru

КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РЕКОНСТРУИРОВАННОЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ КРИСТАЛЛИЗАЦИОННО-ОТЖИГАТЕЛЬНОЙ ПЕЧИ ДЛЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ЛИТЫХ ПЕТРУРГИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

В статье изложены материалы по реконструированию промышленной кристаллизационно-отжигательной печи для термообработки петургических отливок полученных в песчано-глинистых формах.

Ключевые слова: *Петургия, каменное литье, силикатный расплав, минеральное сырье, термообработка, отпуск, кристаллизация.*

Петургические материалы, известные как каменное литье и синтетические минеральные сплавы (симиналы) представляет собой материал – систему кристаллической и аморфной составляющее. Структура не стабильна, при нагреве до температуры T_d выше, чем температура перехода в стеклообразное состояние Tg и ниже, чем температура плавления, происходит образование кристаллических ядер (гомогенных или гетерогенных) с последующим ростом кристаллов [1]. Именно за счет явления образования кристаллических ядер и их роста петургические материалы приобретают структуру необходимой степени кристалличности. Поэтому одной из важнейших технологических операций при производстве петургических материалов является кристаллизационно-отжигательная обработка по определенному режиму, обеспечивающая не только рост кристаллической составляющей до определенного количества, но распределение напряжений в материале, которое гарантировало бы отсутствие его самопроизвольного разрушения и разрушения, связанного с предусмотренными техническими условиями, тепловыми и механическими воздействиями. Режим термообработки имеет много стадийный характер, что подразумевает соответствующее аппаратное обеспечение. В связи с этим актуальными являются работы по конструированию и реконструированию промышленных кристаллизационно-отжигательных печей для термической обработки литых петургических изделий.

Настоящая работа преследует цель провести обзор существующих печей для кристаллизационно-отжигательной обработки и сформулировать конструктивно-технологическую характеристику современной промышленной кристаллизационно-отжигательной печи для термообработки петургических отливок.

Печи для термообработки петургических отливок классифицируются по режиму работы, источнику тепла, способу передачи тепла, направлению движения отжигаемых изделий и конструкции транспортных средств. Печи бывают периодического действия (камерные) и непрерывного действия (конвейерные). В качестве источника тепла применяют жидкое и газообразное топливо, а также электрическую энергию. По способу передачи тепла печи бывают прямого нагрева, муфельные и циркуляционные. К печам для отжига предъявляют жёсткие требования в отношении равномерного распределения температур внутри печного пространства и точного выдерживания режима кристаллизационно-отжигательной обработки [2].

Печи периодического действия применяют очень редко и в основном для обработки крупногабаритных толстостенных или фасонных изделий. В этих печах отливки в формах или уже извлеченные из них, располагаются на поду, в специальной таре (коробах, вагонетках и т.д.). В печах периодического действия обрабатывают изделия с большой толщиной стенки (более 12 – 15 мм), сложной формы и больших размеров.

Печи непрерывного действия, по сравнению с периодическими, отличаются высокой производительностью, низким расходом тепловой энергии на изделие и возможностью более точного регулирования температурного режима. Эти печи снабжены специальными механизмами для перемещения изделий в виде вагонеток, конвейерных (сетчатых, пластинчатых и т.д.), роликовых, валиковых, шагающих подов, толкателей и т.п. Направление движений изделий в соответствии с технологическим процессом выработки – горизонтальное или вертикальное. В вагонеточных печах обычно топки для сжигания топлива расположены под подом. Кузова вагонеток изготовляют из листовой стали, часто перфорированной, или из металлической сетки. В муфельных печах для уменьшения температурного перепада по высоте помимо нижних топок и муфеля часто предусматривают и верхние.

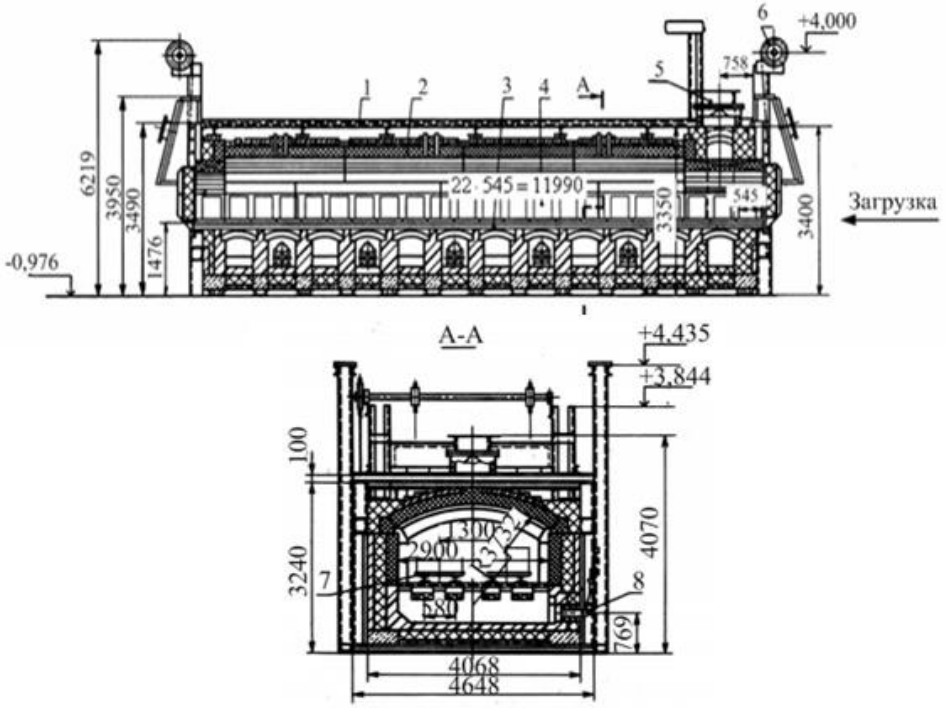


Рис. 1. Схема кристаллизационно-отжигательной печи для термообработки петругических отливок: 1 – каркас печи, 2 – футеровка печи, 3 – подовые направляющие, 4 – форма с отливками, 5 – вытяжная система, 6 – механизм подъемно заслонки, 7 – поддон, 8 – разводка газа

Наиболее удобны, просты и эффективны в эксплуатации печи для кристаллизационно-отжигательной обработки непрерывного действия толкательные, безмуфельные, работающие на газе (рис. 1).

Печь имеет следующие характеристики: общая длина печи 12 м; высота между сводом печи и нагреваемой поверхностью 0,555 м; ширина печи 3 м; диаметр устья дымохода 0,8 м; максимальный объем дымовых газов 0,7 м^3/с; общее количество зон, на которое делится внутренняя поверхность и пространство печи 3; максимальный расход топлива 150 м^3/ч; температура нагрева наибольшая 1200 ºС; число форм (в каждой 6-7 отливок) в печи 30 шт.

Работа установки заключается выдержке отливок в песчано-глинистых формах при температуре кристаллизации, постепенном охлаждении (отжиге) до нижней температуры отжига и быстрого охлаждения до температуры окружающего воздуха. Кристаллизация, отжиг и охлаждение стеклоизделий происходят в процессе перемещения стеклоизделий

конвейером установки вдоль туннеля через все температурные зоны от входного окна шиберного устройства, где изделия загружаются на конвейерную сетку до стола разгрузки на приводной станции. Загрузка залитых форм в установку может производиться как вручную, так и автоматическими загрузчиками. Установка собирается сначала из отдельных секций остова, затем камер нагрева, охлаждения и быстрого охлаждения, шиберного устройства на собранный остов и в конце собирают кожух с закладкой теплоизолирующего материала [3].

Установка имеет четыре технологические зоны:

- зона нагрева и выдержки (кристаллизация);
- зона охлаждения в соответственном интервале температуры;
- зона ускоренного охлаждения;
- зона охлаждения вне закрытой части печи под вентиляторами.

Конструкция печи допускает изменение зон настройкой необходимой температуры с помощью системы автоматического регулирования, состоящей из шкафов управления. Температура в различных зонах соответствует режимам термообработки различных изделий (табл. 1).

В нагревательной зоне располагаются топки, по 20 на каждой из сторон, продукты горения выходят по горизонтальным каналам в стенках печи, которые оканчиваются щелевыми отверстиями. Сжигание топлива осуществляется с минимальным коэффициентом избытка воздуха для обеспечения восстановительной газовой среды. В зоне охлаждения топок в два раза меньше. Топки представляют собой каналы футерованные хромомагнезитом размером 460х350 мм, остальное пространство печи футеровано динасовым кирпичом. Ближе к концу зоны охлаждения осуществляется подача холодного воздуха под свод печи. На выходе из печи формы с отливками охлаждаются вентиляторами, для того что бы оператор мог безпрепятственно работать с отливками.

Таблица 1

Температурный режим кристаллизационно-отжигательной обработки петургических отливок

Материал и интервал температур для каждого из этапов термообработки, ^{o}C	Скорость изменения температуры, ^{o}C/час	Продолжительность периода, ч
Отливки на основе безжелезистого сырья		
Кристаллизация 950-850ºС	60	1
Отжиг 850-150°С	35	20
Охлаждение 150-50 °С	-	2-3
Отливки на основе железистого сырья		
Кристаллизация 1100-950ºС	80	1,8
Отжиг 950-250°С	30	24
Охлаждение 250-50 °С	-	4-5
Отливки на основе металлургических шлаков		
Кристаллизация 950-750ºС	70	2,8
Отжиг 750-150°С	60	10
Охлаждение 150-50 °С	25	4

Таким образом, в настоящей работе представлен обзор существующих печей для кристаллизационно-отжигательной обработки петургических отливок и сформулирована конструктивно-технологическая характеристика для реконструированию современных промышленных кристаллизационно-отжигательных печей для термообработки петургических изделий.

Список литературы

1. *Игнатова А.М., Шешуков О.Ю., Игнатов М.Н.* Рециклинг текущего доменного шлака с помощью литейного модуля на площадках цехов шлакопереработки металлургических комплексов// Научно-технический вестник Поволжья. - №1, 2013. – с. 46-54.
2. *Игнатов М.Н., Шундиков Е.Н., Игнатова А.М., Шундиков Н.А., Николаев М.М.* Конструкция лабораторной малогабаритной электродуговой установки для плавки фторфлогопита «ДКПП-05». – Тезисы докладов юбилейной НТК «Современные организационные, технологические и конструкторские методы управления качеством». – Пермь: ПГТУ, 2006. – с. 135-137.
3. *Игнатова А.М., Чернов В.П.* Многотоннажная технология переработки металлургических шлаков и отходов горно-обогатительных комбинатов (ГОК) в литые силикатные материалы для различных сфер промышленности, промышленного, гражданского и дорожного строительства//Ползуновский альманах. - № 3 т. 2, 2009. – с. 129-131.

05.21.05

С.И. Рощина д.т.н., М.С. Сергеев, А.В. Лукина, М.С. Лисятников

Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых,
Владимир, rsi3@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕРЕВОКОМПОЗИТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭПОКСИДНЫХ ОЛИГОМЕРОВ МОДИФИЦИРОВАННЫХ УГЛЕРОДНЫМИ НАНОТРУБКАМИ

Рассмотрен вопрос применения состава ЭД-20 модифицированного углеродными нанотрубками на примере деревокомпозитной балки с симметричным армированием.

Ключевые слова: *деревокомпозитные балки, деформативность, прочность, углеродные нанотрубки, эпоксидные олигомеры.*

На протяжении истории деревянные конструкции всё время развивались, вбирая в себя новые элементы (появление ДКК, АДК). Значительную роль в совершенствование деревянных конструкций внесло появление и развитие эпоксидных смол. В наше время стремительно развиваются нанотехнологии, в том числе они находят своё применение и в строительстве. Однако, исследований в этом направлении пока проведено очень мало, в частности представляет интерес использование возможностей наноиндустрии для совершенствования деревянных конструкций.

В данном исследовании поднимается вопрос модификации деревокомпозитных балок, в частности с применением нового модифицированного состава на основе эпоксидной смолы ЭД-20. Для решения этой задачи ФГУП ВИАМ (г. Москва) и ВлГУ (г. Владимир) совместно с ТГТУ и ООО «Нанотехцентр» (г. Тамбов) был использован процесс совмещения эпоксидной смолы с различными типами УНТ и на основе исследований был разработан ряд прекурсоров содержащих 1,5%-ный состав углеродных нанотрубок. Данные прекурсоры можно использовать на любом производстве при изготовлении композитных конструкций.

В ходе экспериментальных исследований было испытанно 4 серии балок, по 3 образца в каждой серии. Первая серия состояла из простых деревянных балок пролётом 2,25 м и принималась в качестве эталона для следующих серий композитных балок. Для наглядного изображения результаты испытаний представлены в таблице.

Серии балок:

- Серия БД – Балка деревянная (без армирующих слоёв);
- Серия БК – Балки композитные с симметричным армированием двумя слоями стеклоткани в растянутой и сжатой зоне на матрице ЭД-20;
- Серия БКунт – то же, на матрице ЭД-20 модифицированной УНТ;
- Серия БКунт+t°– то же, с горячим отверждением ЭД-20+УНТ.

Испытательный стенд для экспериментальных исследований представляет собой десятитонный пресс с распределительной траверсой, обеспечивающей раздвоение передаваемой нагрузки на две равные силы, приложенные в четвертях пролёта и жёсткой реактивной балки на которой устанавливается испытываемая симметричная деревокомпозитная балка пролётом 2,25 м. Схема загружения приведена на рис. 1.

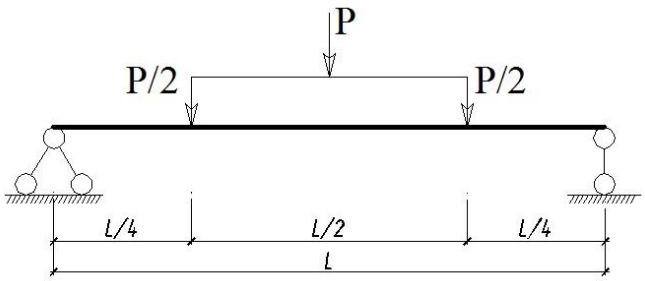


Рис. 1 – Схема загружения симметричных деревокомпозитных балок

Разрушающая нагрузка определялась из условия прочности нормальных сечений с использованием результатов численных исследований и составила 10,40 кН для деревянных балок и 14,0 кН – для композитных балок. Действительные разрушающие нагрузки, выявленные в ходе эксперимента, представлены в таблице.

Разрушение деревянных балок серии БД начиналось со смятия в крайних волокнах сжатой зоны с образованием характерных складок, затем растянутые волокна теряли устойчивость. Разрушение происходило в середине пролёта. В опорной зоне балок деформаций отмечено не было.

Разрушение композитных балок серий БК носило пластический характер, разрушение начиналось со смятия в сжатой зоне, после чего в растянутой зоне образовывалась трещина в месте расположения пороков в виде сучка. Отрыва стеклоткани от древесины и её разрыва в сериях БКунт и БКунт+t° не происходило.

Таблица – Результаты испытаний симметричных деревокомпозитных балок

Серии балок	Сечение		Нагрузка P, кН	Деформации $\varepsilon\times10^{-4}$		Прогибы, мм	Разрушающая нагрузка, кН
	h, мм	b, мм		Древесина			
				сжат	раст		
БД-1	99,0	70,0	10,4	19,63	21,62	8,87	12,0
БД-2	100,0	68,0	–”–	19,60	21,75	8,72	11,9
БД-3	100,0	70,0	–”–	19,57	21,72	8,85	11,7
БК-1	102,0	69,0	14,0	8,94	9,48	8,68	22,6
БК-2	101,0	71,0	–”–	8,87	9,57	8,70	22,3
БК-3	103,0	70,0	–”–	8,88	9,43	8,63	22,4
БКунт-1	103,0	69,0	14,0	7,88	8,64	7,86	30,1
БКунт-2	99,0	68,0	–”–	7,96	8,66	7,82	30,4
БКунт-3	102,0	70,0	–”–	7,83	8,60	7,70	29,6
БКунт+t^o -1	101,0	69,0	14,0	7,44	7,89	7,09	31,6
БКунт+t^o -2	99,0	71,0	–”–	7,43	7,96	7,21	31,2
БКунт+t^o -3	103,0	70,0	–”–	7,54	7,93	7,15	31,2

Усиление стеклотканью растянутой и сжатой зон повышает несущую способность балок на 35…40% и уменьшает деформативность на 24…42%, по сравнению с обычными деревянными балками.

Усиление стеклотканью с применением модифицированной углеродными нанотрубкам смолы ЭД-20 повышает их несущую способность на 25…32% и уменьшает деформативность на 22…27%, по сравнению с балками без применения углеродных нанотрубок. Общий вид исследуемых деревокомпозитных балок с симметричным армированием базальтовой стеклотканью на модифицированном составе ЭД-20+УНТ представлен на рис.2, испытание балки на стенде – на рис. 3.

В случае прогрева конструкции при изготовлении несущая способность балок на модифицированной смоле возрастает на 4-7% а деформативность уменьшается на 2-5%. Кроме того при использовании прогрева конструкций конверсия в клеевом составе протекает быстрее и время изготовления балки значительно уменьшается.

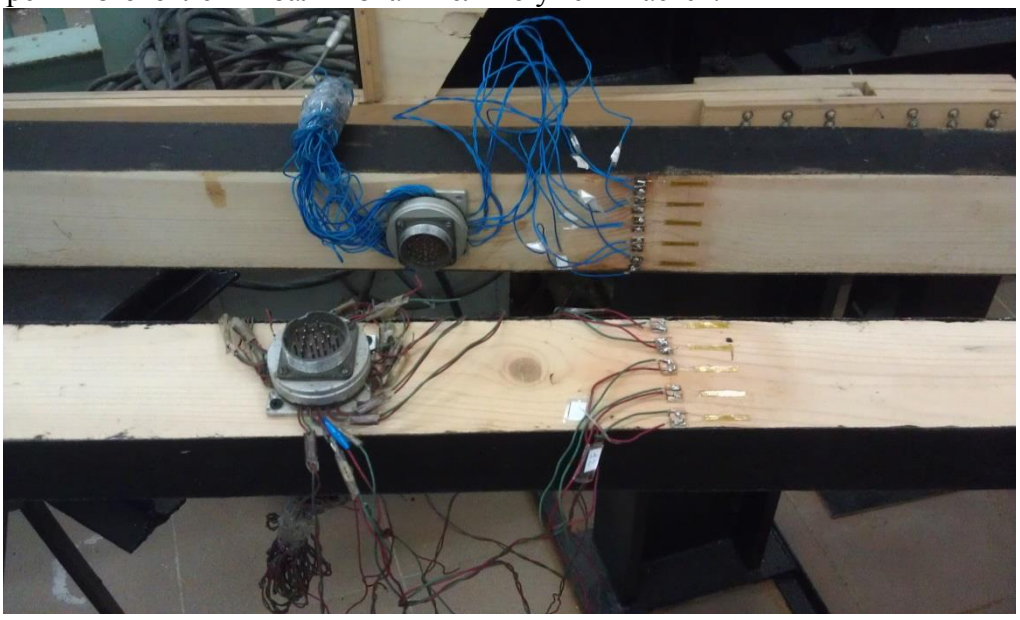


Рис.2 – Общий вид исследуемых деревокомпозитных балок с симметричным армированием базальтовой стеклотканью на модифицированном составе ЭД-20+УНТ

Экспериментально подтверждено, что разрушение композитных балок происходит только по нормальным сечениям, и характер разрушения - пластический. Это исключает возможность хрупкого разрушения армированных балок от скалывания и раскалывания в приопорных участках, т.е. обеспечивает надежность работы конструкций на действие сдвигающих усилий в опорных сечениях, тем самым, повышая надежность конструкции против обрушения.

Применение углеродных нанотрубок в составе клеевой композиции увеличивает трещиностойкость древесины, повышаются адгезионно-когезионные характеристики соединения.

Рис. 3 – Деревокомпозитная балка под нагрузкой на испытательном стенде

Применяемый прогрев конструкции не только увеличивает несущую способность симметричных балок, но и является важным фактором, влияющим на предел огнестойкости конструкции.

Это позволяет создавать принципиально новые нанокомпозитные конструкции, обладающие повышенными прочностными, а также жесткостными характеристиками и имеющими широкий спектр применения.

Список литературы

1. Особенности формирования полимерных сеток при отверждении эпоксидных олигомеров с функциализованными нанотрубками. Акатенков Р.В., Кондрашов С.В., Фокин А.С., Мараховский П.С. Авиационные материа-лы и технологии, №2, 2011, С. 31-37.
2. *Щуко В.Ю., Рощина С.И.* Армированные деревянные конструкции в строительстве // Учебное пособие. – Владимир, ВлГУ, 2002. - 68с.

05.11.14

[1]И.В. Рыжиков д.т.н., [2]С.Н. Зайцев

Московский государственный университет приборостроения и информатики,
факультет приборостроения,
кафедра инновационные технологии в приборостроении, микро- и оптоэлектронике (ПР-6),
Москва, [1]OND491@yandex.ru, [2]zaitsev88@yandex.ru

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДИФФУЗИОННЫХ УЧАСТКОВ ВОЛЬТ - АМПЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СВЕТОДИОДОВ С УЧЁТОМ ПРИЛИПАНИЯ ЭЛЕКТРОНОВ И ДЫРОК

Выведены расчетные соотношения для диффузионных участков вольт-амперных характеристик светодиодов с учётом эффекта прилипания электронов и дырок, показано влияние данного эффекта на физику работы СИД.

Ключевые слова: *анализ, светодиод, вольт-амперная характеристика, прилипание электронов и дырок.*

Введение

Гетероструктуры облученные нейтронами, изучались авторами[3] и анализировались, как правило, с помощью модели, учитывающей только деградацию времени жизни при облучении, т.е. генерацию только центров рекомбинации. Это не позволило объяснить расхождение между теоретическими и экспериментальными кривыми при больших флуенсах нейтронного облучения, когда отношение толщины базы к диффузионной длине становится значительным и элементарная теория приводит к существенно бóльшим падениям в толще, чем это следует из эксперимента[3]. Нами впервые выведены расчетные соотношения для диффузионных участков ВАХ светодиодов. В данные зависимости введены центы прилипания электронов и дырок.

Диффузионные участки ВАХ.

В основе расчета концентрации носителей, полей и токов в компенсированном слое[3] лежит система уравнений Херинга-Риттнера [2]:

$$\frac{2kT}{e}\cdot\frac{d^2p}{dx^2}+(p_0-n_0)\cdot\frac{dE}{dx}+\frac{\varepsilon\varepsilon_0}{e}\cdot\left(E\cdot\frac{de}{dx}\right)=\frac{b+1}{b\mu_p}\cdot\frac{p}{\tau_p}\quad\text{или}\quad\frac{b+1}{b\mu_p}\cdot\frac{np}{\alpha},\qquad(1)$$

где n_0, p_0, n, p – равновесные и неравновесные концентрации электронов и дырок; E – напряжённость электрического поля; ε_s – диэлектрическая проницаемость материала; ε_0 – диэлектрическая проницаемость вакуума; μ_n, μ_p – подвижность электронов и дырок; $b=\mu_n/\mu_p$ – отношение подвижностей; τ_p – безызлучательное время жизни дырок; α – коэффициент безызлучательной рекомбинации (в режиме малого уровня инжекции $\alpha=n_0\tau_p$).

Когда в левой части выражения (1) преобладает первое слагаемое, распределение носителей в компенсированном слое находится из решения диффузионного уравнения и соответствующие теории называются диффузионными.

Когда основную роль играет дрейф в компенсированном слое, в левой части (1) преобладают второе или третье слагаемые и соответствующие теории называются дрейфовыми.

Холловский участок ВАХ.

Пока $U < U_k$ в левой и правой части выражения (1) преобладает первое слагаемое и распределение носителей в компенсированном слоенаходится из решения диффузионного уравнения:

$$\frac{2kT}{E}\cdot\frac{d^2p}{dx^2}=\frac{b+1}{b\mu_p}\cdot\frac{p}{\tau_p}+R, \qquad (2)$$

где $R=n_{к.я.}/\tau_p$ или $R=\beta\tau_{к.я.}p_{к.я.}$ – скорость моно- или бимолекулярной излучательной рекомбинации в квантовой яме.

Если скорость рекомбинации в компенсированном слое линейна, а коэффициенты инжекции гетеропереходов равны единице, в режиме высокого уровня инжекции реализуется холловский участок ВАХ [4]:

$$j=j_{S1}\exp\left(\frac{eU}{2kT}\right), \qquad (3)$$

$$=j_{S1}=\frac{edn_i}{\tau_p\sqrt{\gamma}}\ (d/L_p\le 1),\quad j_{S2}=\frac{2e\sqrt{D_p}n_i}{\sqrt{\tau_p}\sqrt{\gamma}}\ (d/L_p\ge 3), \qquad (4)$$

где D_p – коэффициент диффузии, τ_p – время жизни, а L_p – диффузионная длина дырок, n_i – концентрация носителей в материале собственной проводимости, $\gamma=(1+\gamma_p)/(1+\gamma_n)$ – коэффициент захвата электронов и дырок, $\gamma_p=\frac{N_{t,p}}{N_U}\exp\left(\frac{E_{t,p}}{kT}\right)$; $\gamma_n=\frac{N_{t,n}}{N_C}\exp\left(\frac{E_{t,n}}{kT}\right)$,

$N_{t,p}$, $N_{t,n}$ – концентрация центров прилипания дырок и электронов,

$E_{t,p}$, $E_{t,n}$ – энергия ионизации дырочных и электронных ловушек.

В случае линейной или «квадратичной» скорости излучательной рекомбинации носителей в квантовой яме получаем [1]:

$$I_V=\frac{\gamma_p W\tau_p}{2e\tau_R d}\cdot j;\quad I_V=\frac{\gamma_p\gamma_n W\tau_p^2}{4e^2d^2}\cdot j^2. \qquad (5)$$

Участок Осипова, Холоднова, Карагеоргий-Алкалаева, Лейдермана.

В случае нелинейной излучательной и безызлучательной рекомбинации в компенсированном слое, когда носители в этом слое или на его границах связаны соотношениями $nN_1=\theta p^2$ или $n^2=\theta N_1 p$, где N_1 – разность концентраций мелких и глубоких примесных центров, формирующих компенсированный слой; θ – отношение сечений захвата дырок и электронов центром рекомбинации, ВАХ выглядит следующим образом [1,4]:

$$j=\frac{3}{2}\cdot\frac{eD_n n_i^{4/3}}{L_n}\cdot\left(\frac{\theta}{N_1}\right)^{1/2}\cdot th\left(\frac{d}{L_n}\right)\cdot\exp\left(\frac{eU}{1{,}5kT}\right). \qquad (6)$$

Сила света из квантовой ямы при «квадратичной» скорости излучательной рекомбинации определяется соотношением [2]:

$$I_V=\beta\gamma_p\gamma_n\int_0^W npdx=\frac{2}{3}\cdot\frac{\beta\gamma_n\gamma_p\tau_n^{3/2}}{e^{3/2}W^{1/2}}\cdot\left(\frac{N_1}{\theta}\right)^{1/2}\cdot j^{3/2}=2\beta\gamma_n W n_i^2\exp\left(\frac{eU}{kT}\right). \qquad (7)$$

Клайнменовский участок ВАХ.

Когда в компенсированном слое преобладает диффузионный перенос носителей, а рекомбинация в низкоомных областях p^+-n^*-n-структуры – реализуется клайнменовский участок ВАХ [2]:

$$j=B(U-U_k)^2; \qquad (8)$$

$$B=\left(\frac{e}{kT}\right)^2\left(\frac{eD_p}{\tau_p}\right)\left(\frac{N_0^I L_p^I}{D_p^I}\right)\frac{b\gamma(b\gamma+1)}{sh^2(d/L_p)\ln^2\left(\sqrt{K}/ch(d/L_p)\right)}\cdot S, \qquad (9)$$

в случае монотонного распределения носителей в компенсированной области несимметричной p^{++}-n^*-n^+-структуры.

Сила света гетероструктуры в оптически активной n^+-области может быть представлена в следующем виде:

$$I_V = \frac{\gamma_n W \sqrt{\tau_p} \left(N_0^I L_p^I\right)^{1/2}}{\sqrt{e}\, d\tau_R (b+1)} \sqrt{j}\,. \qquad (10)$$

Величина коэффициента B в симметричной p^+-n^*-n-структуре, когда распределение носителей в компенсированном слое имеет минимум, выглядит следующим образом:

$$B = \left(\frac{e}{kT}\right)^2 \left(\frac{eD_p}{\tau_p}\right)\left(\frac{p_0^I L_n^I}{D_n^I} \cdot \frac{n_0^{II} L_p^{II}}{D_p^{II}}\right) \cdot \frac{(b\gamma+1)(2/\pi)^2}{\exp\left(d/L_p\right)} \cdot S\,. \qquad (11)$$

где p_0^I, L_p^I и D_n^I – концентрация дырок, диффузионная длина и коэффициент диффузии электронов в p^+-области; n_0^{II}, L_n^{II} и D_p^I – параметры n^+-области.

Выражения (9) и (11) являются обобщением результатов Клайнмена на случай произвольной ширины компенсированного слоя [2] (Клайнмен рассматривал случай $d/L_p \le 1$ [15]).

Отметим, что в случае $d/L_p \ge 3$ величина коэффициента B является экспоненциальной функцией времени жизни, что характерно для диффузионных моделей в отличии от дрейфовых (см. ниже).

Участок Карагеоргий-Алкалаева, Лейдермана.

В длинных ($d/L_p \ge 3$) несимметричных $p(0)/p(d)$ или $p(0)/p(d) < ch(d/L_p)$ структурах распределение носителей в компенсированном слое имеет минимум, смещенный в сторону менее легированной p^+- или n^+-области. Падение напряжения в этом случае определяется плотностью носителей в минимуме, а ВАХ p^{++}-n^*-n^+-структуры имеет следующий вид [10,11]:

$$j = A(U - U_K)^4,$$

где

$$A = \left(\frac{e}{kT}\right)^2 \left(\frac{eD_p}{\tau_p}\right)\left(\frac{n_0^{II} L_p^{II}}{D_p^{II}}\right) \cdot \frac{(b\gamma+1)}{4b\gamma} \cdot \frac{(2/\pi)^4}{\exp\left(2d/L_p\right)} \cdot S\,. \qquad (12)$$

В случае несимметричной p^+-n^*-n^+-структуры параметры n^+-области в (12) следует заменить на параметры p-области: $\left(p_0^I L_n^I / D_n^I\right)$.

Выводы

Установлено, что прилипание электронов ($b\gamma < 1$) улучшает, а дырок ($b\gamma > 1$) значительно ухудшает инжекцию и, вследствие этого, эффективность электролюминесценции из n^+-слоя. Таким образом, в отличие от низкого уровня инжекции, снижение световыхода при воздействии внешних факторов может быть следствием не только деградации времени жизни, но и генерации ловушек, а также доноров (акцепторов) в активной области светодиода.

Список литературы

1. *Абрамов В.С., Маняхин Ф.И., Рыжиков В.И., Щербаков В.Н.* Исследование воздействия нейтронного и гамма облучения на вольт-амперные и люмен-амперные характеристики светодиодов на основе $In_XGa_{1-X}N$-GaN с зеленым цветом свечения// «Приборы+автоматизация». 2002. № 10(28). С.44-47.
2. *Абрамов В.С., Рыжиков И.В., Щербаков В.Н.* Математическая модель светоизлучающих гетероструктур на основе твердых растворов фосфида и нитрида галлия, индия, алюминия, облученных нейтронами и гаммаквантами // Информационные технологии в науке, технике и образовании: Сб. тр. МНТК. – М.: МГАПИ, 2005. – Т.2. – С.67–78.
3. *Виноградов В.С., Рыжиков И.В., Руденко Н.Н., Сумин С.Б., Фирсов А.С.* Исследование воздействия быстрых нейтронов и электронов на светодиоды с белым цветом свечения//Сборник «Инновационные технологии в науке, технике и образовании». М.: МГУПИ, 2008, т. 2, с. 20-29.
4. *Кондратенко В.С., Абдуллаев О.Р., Рыжиков И.В., Виноградов В.С., Фирсов А.С.* Сравнительное исследование воздействия проникающей радиации на светодиоды нового поколения на основе AlGaInP и AlGaInN гетероструктур//Приборы. 2009, № 3, с.24-36.

05.13.11

К.В. Рябинин

Пермский государственный национальный исследовательский университет,
механико-математический факультет,
кафедра Математического обеспечения вычислительных систем,
Пермь, kostya.ryabinin@gmail.com

РАЗРАБОТКА МУЛЬТИПЛАТФОРМЕННОЙ КЛИЕНТ-СЕРВЕРНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ НАУЧНОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ

В данной статье рассматривается вопрос создания клиент-серверной системы для сложной визуализации результатов научных вычислений. В настоящее время, в связи с возрастающей популярностью мобильных устройств (смартфонов и планшетных компьютеров) остро встаёт проблема мультиплатформенности разрабатываемого ПО, то есть его работоспособности на мобильных устройствах и настольных компьютерах без модификации исходного кода. В статье рассматривается решение данной проблемы: серверная часть описываемой системы может выполняться как на настольном компьютере, так и на высокопроизводительной распределённой вычислительной системе, а клиентская часть – как на настольном компьютере, так и на мобильном устройстве. Процесс визуализации адаптивно распределяется между клиентом и сервером так, чтобы обеспечить оптимальную нагрузку и наибольшую скорость.

Ключевые слова: *научная визуализация, мобильные платформы, OpenGLES, VTK, VES.*

1. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время всё более актуальными становятся задачи автоматизированной визуализации результатов научных вычислений средствами компьютерных систем. Не смотря на то, что решения таких задач уже существуют, в этой области продолжают создаваться и развиваться всё новые программные продукты. Обусловлено это усложнением самих задач, а также развитием аппаратной базы. Так, например, с появлением и широким распространением мобильных устройств (смартфонов и планшетных компьютеров), появилась необходимость создавать визуализаторы, совместимые с ними. Другим направлением является развитие высокопроизводительных вычислительных систем, работа с которыми, как правило, осуществляется удалённо. В связи с этим появляется необходимость переносить визуализаторы на клиент-серверную архитектуру.

Целью данной работы является разработка системы визуализации результатов научных расчётов, основанной на архитектуре клиент-сервер. Сервером для такой системы может выступать как настольный компьютер, так и высокопроизводительная вычислительная система, а клиентом – настольный компьютер или мобильное устройство. При этом между клиентом и сервером должно иметь место адаптивное распределение нагрузки по предварительной обработке данных для визуализации, и собственно процессу рендеринга.

В соответствии с поставленной целью можно сформулировать следующие задачи.

1. Анализ существующих систем научной визуализации;
2. Анализ технологий создания мультиплатофрменных приложений;
3. Проектирование и реализация клиента и сервера;
4. Разработка подсистемы построения графического интерфейса пользователя под разные платформы;
5. Тестирование системы на прикладных задачах.

2. ОБОСНОВАНИЕ АКТУАЛЬНОСТИ

На современном этапе развития естественных наук возникает всё больше задач, требующих для своего решения сложных математических моделей. Числовые данные,

получаемые в ходе решения таких задач, сложны для восприятия и анализа человеком, а потому нуждаются в каком-либо наглядном представлении. При этом традиционные способы визуализации числовых данных – графики, диаграммы и таблицы – не всегда оказываются в достаточной степени наглядными.

Для организации более сложных графических представлений результатов научных вычислений существует достаточно большое количество готовых программных продуктов. Однако среди них почти нет мультиплатформенных решений, то есть продуктов, которые могли бы работать под управлением операционных систем для настольных компьютеров (Windows, GNU / Linux, Mac OS X и др.) и мобильных устройств (iOS, Android и др.) одновременно. С возрастанием популярности и вычислительной мощности мобильных устройств, требование мультиплатформенности становится всё более актуальным.

Следующим серьёзным недостатком большинства существующих программных продуктов является отсутствие интеграции с вычислителем. Под интеграцией понимается возможность не только визуализировать данные, получаемые от вычислителя, но и управлять его работой. Такая функциональность могла бы быть для исследователя очень полезной.

Часто для решения вычислительных задач, возникающих в естественных науках, используются высокопроизводительные системы, работа с которыми происходит удалённо. Таким образом, процесс решения вычислительной задачи переносится на клиент-серверную архитектуру, где сервером выступает высокопроизводительная система, а клиентом – компьютер исследователя. В этом случае встаёт вопрос о получении данных от вычислителя по сети, и к организации визуализатора существует три подхода [12]:

1. Визуализация выполняется на стороне клиента (клиент получает от сервера весь набор данных, необходимых для визуализации).
2. Визуализация выполняется на стороне сервера (клиент получает от сервера готовое изображение).
3. Визуализация распределена между клиентом и сервером.

В настоящее время наиболее популярными являются первые два подхода. Оба они имеют как достоинства, так и недостатки.

В первом случае можно добиться высокой интерактивности визуализированной сцены, так как всё её описание хранится в памяти клиента. Однако, во-первых, клиент должен обладать достаточной вычислительной мощностью для хранения и визуализации всей сцены целиком, а во-вторых канал связи должен обладать достаточной пропускной способностью, чтобы перед началом визуализации можно было передать весь требуемый объём данных.

Во втором случае вся нагрузка, связанная с визуализацией, перекладывается на сервер, и системные требования для клиента резко снижаются. Однако при одновременном обращении к серверу нескольких клиентов, нагрузка может оказаться слишком высокой даже для высокопроизводительной вычислительной системы. Кроме того, на стороне клиента уменьшается интерактивность, так как при каждом действии пользователя требуется отправить соответствующую команду серверу и дождаться от него обновлённого изображения.

Третий подход объединяет достоинства первых двух, сводя к минимуму их недостатки. Он является технически наиболее сложным и допускает разнообразные варианты реализации.

На основании вышесказанного можно сделать вывод об актуальности создания мультиплатформенной системы визуализации результатов научных вычислений, основанной на клиент-серверной архитектуре, рендеринг в которой был бы распределён между клиентской и серверной частями, а также присутствовал бы механизм интеграции с вычислителем.

3. ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ РЕШЕНИЙ

Для решения задач визуализации результатов научных вычислений традиционно используются либо математические программные пакеты, интегрирующие в себе функции построения изображений (такие, как MathCad, MatLab, Mathematica, Maxima и др.), либо пакеты, ориентированные исключительно на визуализацию (TechPlot, Origin, EasyPlot, IRIS

Explorer, Surfer, Grapher, AMLab и др.) [11, 13]. В некоторых ситуациях роль программ научной графики могут играть системы автоматизированного проектирования (САПР).

Однако все эти классы систем обладают своими существенными недостатками. Так, например, пакеты, интегрирующие в себе вычислительные инструменты и визуализатор, не являются достаточно гибкими, плохо масштабируются в условиях высокопроизводительных вычислительных систем, и, кроме того, предоставляют достаточно ограниченный спектр графических возможностей (чаще всего – построение диаграмм, графиков и поверхностей).

Пакеты, ориентированные на одну только визуализацию, не обладают должной степенью интеграции с вычислителем; пользователь вынужден сам управлять вычислителем и приводить получаемые от него данные к формату, пригодному для систем визуализации.

В случае использования САПР, проблема приведения данных к пригодному для данных систем формату стоит ещё более остро, поскольку подобное использование для САПР, вообще говоря, не является целевым.

На сегодняшний день почти полностью отсутствуют визуализаторы научных данных, которые работали бы под управлением «мобильных» операционных систем. Это связано с тем, что производительность мобильных устройств лишь недавно стала достаточной для решения с их помощью вычислительно-сложных задач. Производители программного обеспечения ещё не успели разработать качественные и удобные для учёных-исследователей продукты. Спектр приложений для мобильных, поддерживающих научную визуализацию, ограничивается лишь относительно простыми построителями графиков и поверхностей (PocketCAS, GraphCalc и др.). Наиболее многофункциональной и производительной системой является KiwiViewer [3], которая реализована под операционные системы iOS и Android. Она позволяет визуализировать большие массивы геометрических данных, однако при этом не имеет никаких средств интеграции с вычислителем: входными данными для визуализации являются модели, сохранённые в одном из поддерживаемых форматов, и предполагается, что пользователь сам получает эти модели от вычислителя и загружает их в программу.

Для создания программ научной визуализации существует целый ряд готовых библиотек и модулей. Наиболее популярными являются OpenDX, VTK, VizIt и ScientificVR. Подробный обзор этих программных средств осуществлён в диссертационной работе О. Джосан [12]. Наиболее многофункциональной и удобной в использовании является библиотека VTK. Она имеет версию, поддерживающую распараллеливание процесса визуализации (pVTK) и версию, адаптированную под мобильные устройства (VES). Упомянутая выше система KiwiViewer реализована именно на основе библиотеки VES.

Теоретически, для вывода графики могут быть использованы модули графического расширения, такие как Unity3D [10], SIO2 [9], OGRE [5], Irrlicht [2] и пр. Все эти разработки являются мультиплатофрменными. Однако они ориентированы по большей части для создания игровых приложений, а потому не подходят для визуализации научной графики. Основным техническим отличием игровых приложений от программ научной визуализации являются объёмы данных, подлежащих отображению. В играх модели персонажей и окружения создаются таким образом, чтобы одержать минимально-возможное количество геометрических данных. Кроме того, при визуализации большое внимание уделяется различного рода специальным эффектам – вспышкам, искажениям картинки и пр. В процессе научной визуализации геометрические данные, как правило, оказываются высоко-детализированными и тяжеловесными, а специальные эффекты при отображении не уместны (так как будут только отвлекать исследователя).

Большой проблемой при разработке мультиплатформенных приложений является создание графического интерфейса пользователя. Существует очень мало готовых мультиплатформенных библиотек для этого. Наиболее популярными являются Qt [7] (с его реализациями под iOS [8] и Android [4]) и Clutter [1]. Однако данные библиотеки на мобильных устройствах испытывают определённые проблемы стабильности работы, так как ещё не до конца отлажены. С другой стороны, при использовании такого рода библиотек,

возникает так называемая проблема двойного дизайна: программист вынужден подобрать две версии интерфейса программы – одну для настольных компьютеров, а другую – для мобильных устройств. Связано это с тем, что мобильные устройства и настольные компьютеры использует различные парадигмы отображения информации и управления (на настольных компьютерах в распоряжении пользователя имеются, чаще всего большой экран, клавиатура и мышь, в то время как на мобильных устройствах экран значительно меньше, а управление основано на использовании сенсорной панели).

Один из способов решения проблем мультиплатформенности и двойного дизайна – это написание Web-приложений. Наиболее популярными технологиями для этого являются HTML 5 (совместно с использованием JavaScript и CSS) и Flash. Однако в контексте научной визуализации данные подходы на сегодняшний день почти не применимы, так как узким местом в Web-приложениях выступает программа-браузер, а производительности браузеров для работы со сложной графикой пока ещё не хватает, в особенности под мобильными платформами (так, например, аппаратно-ускоренная графика средствами технологии WebGL под управлением операционной системой iOS не поддерживается).

4. ПРЕДЛАГАЕМОЕ РЕШЕНИЕ

Ввиду того, что было принято решение реализовать интеграцию системы визуализации с вычислителем, была выбрана клиент-серверная архитектура. Концептуальная схема разрабатываемой системы представлена на рис. 1.

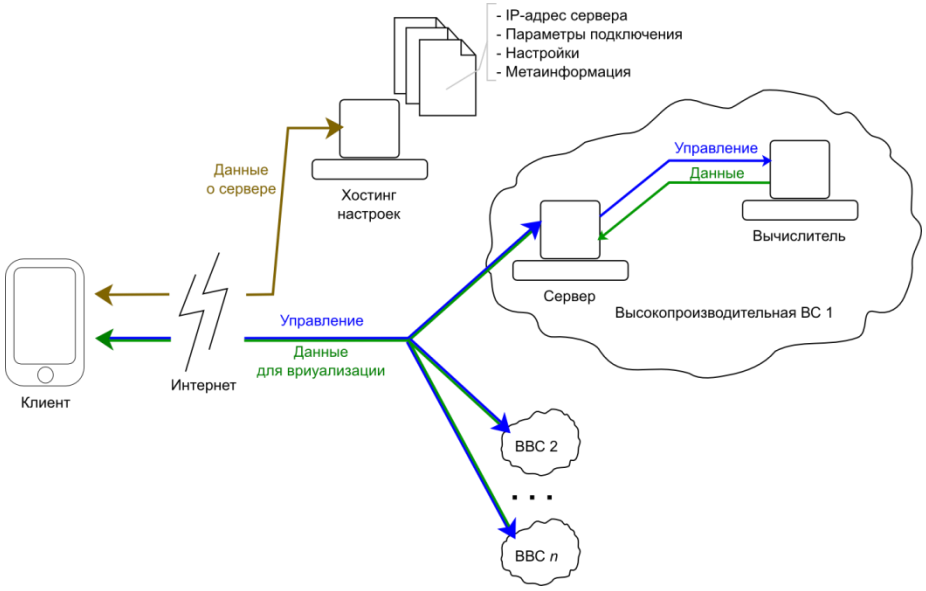


Рис. 1 – Концептуальная схема разрабатываемой системы

Клиентом может выступать как настольный компьютер, так и мобильное устройство, а сервером – настольный компьютер или высокопроизводительная распределённая вычислительная система. В том случае, если решатель (программа, осуществляющая решение какой-либо научной задачи) выполняется на распределённой системе, среди узлов этой системы выделяется так называемая интерфейсная машина, ответственная за сбор данных для визуализации, управление решателем и коммуникацию с клиентом.

В качестве языка реализации системы визуализации результатов научных вычислений использовался C++. Это связан с тем, что программа, написанная на данном языке, может быть скомпилирована как под операционные системы для настольных компьютеров (Windows, GNU / Linux и Mac OS X), так и для мобильных устройств (iOS и Android).

В качестве подсистемы визуализации используются библиотеки стандарта OpenGL (под управлением «настольных» ОС) и OpenGLES (под управлением «мобильных» ОС). Так как OpenGLES является подмножеством OpenGL, разработка велась именно в его рамках.

Для визуализации сложных данных используется библиотека VTK (под управлением «мобильных» ОС, соответственно, её адаптированная версия – VES). Однако некоторые

структуры отрисовываются при помощи собственных алгоритмов.

Проблема мультиплатофрменного графического интерфейса пользователя была решена разработкой собственной библиотеки компонентов, включающей в себя возможность расположения на экране рабочих областей, заполненных элементами управления (кнопками, слайдерами и пр.). Библиотека использует OpenGLES в качестве подсистемы визуализации, за счёт чего достигается эффективная интеграция элементов интерфейса и трёхмерной сцены на одном экране.

Для решения проблемы двойного дизайна был разработан специальный модуль, автоматизирующий процесс построения графического интерфейса пользователя. Входными данными для этого модуля служит декларативное описание интерфейса на языке XML. Результатом работы является интерфейс, построенные с учётом особенностей текущей платформы. Идейно такой язык схож с языком XAML от компании Microsoft, однако предоставляет более общие описания, чтобы по одной и той же декларации мог быть построен интерфейс как для мобильной, так и для настольной версии приложения.

Важной функцией для системы научной визуализации является поддержка многомасштабности по размеру и времени, то есть возможность отображать изучаемый объект в разных масштабах и с разными скоростями протекающих в нём процессов.

Для достижения многомасштабности по размеру в предложенной системе используется метафора микроскопа. В программе выделяются два способа изменения масштаба сцены – количественный и качественный.

Количественное масштабирование позволяет непрерывно изменять размер отображаемого объекта в определённых пределах. Такое масштабирование метафорически соответствует подстройке фокуса у микроскопа. При этом с изменением коэффициента увеличения меняется уровень детализации сцены: когда части структуры становятся меньше определённого порогового значения, их детализация уменьшается. Оказавшиеся за пределами усечённой пирамиды видимости фрагменты объекта временно исключаются со сцены и не поступают на графический конвейер. Таким образом достигается оптимальная нагрузка на центральный и графический процессоры и повышается производительность.

Качественное масштабирование – это дискретное изменение размера объектов, метафорически соответствующее смене линзы микроскопа. Переходя на следующий уровень качественного масштаба, исследователь может увидеть детали объекта, которые были недоступны на предыдущем уровне, то есть система полностью перестраивает сцену, отображая новые данные. Разные уровни масштаба должны иметь поддержку и на стороне программы-решателя, так как именно от неё система визуализации получает данные о структуре отображаемого объекта.

Многомасштабность по времени позволяет управлять скоростью воспроизведения анимации. Такая возможность так же актуальна, поскольку процессы, интересные исследователю, могут иметь самую разную реальную скорость протекания. Управление анимацией в предлагаемой системе осуществляется при помощи «шкалы времени», похожей на шкалу перемотки в видео- и аудиоплеерах. Для воспроизведения анимации требуется, чтобы программа-решатель предоставила данные о состоянии изучаемого объекта в фиксированные моменты времени, а затем система визуализации автоматически производит интерполяцию между этими состояниями, как между ключевыми кадрами.

Для разрабатываемой системы планируется также организовать интеграцию с программой-решателем так, чтобы исследователь мог управлять решателем с интерфейса системы визуализации. Сложность такой интеграции состоит в том, что для каждой конкретной задачи, вообще говоря, существует свой решатель, имеющий свой набор команд управления. Часто решатель пишется под конкретную задачу и представляет собой консольное приложение, имеющее лишь небольшой набор изменяемых входных параметров. В связи с этим для каждого конкретного решателя предлагается создавать описание интерфейса управления (формы ввода данных и, если это необходимо, дополнительных команд, которые могут быть переданы решателю прямо в процессе счёта). Описание

осуществляется на том же декларативном языке, на котором создаётся интерфейс самой системы визуализации. Файлы с описаниями интерфейсов различных решателей (и, возможно, некоторой дополнительной метаинформацией – IP-адресами серверов решателей и т. д.) размещаются на некотором Web-хостинге, откуда по запросу загружаются системой визуализации. После скачивания такого файла, система визуализации строит форму управления и отдаёт решателю команду на запуск вычислений по тем входным данным, которые ввёл при помощи этой формы пользователь.

Посредником между клиентской частью системы и программой-решателем выступает серверная часть системы. Так как решатель, вероятнее всего, будет выполняться на высокопроизводительной вычислительной системе под управлением UNIX-подобной ОС, серверная часть также будет создана ориентированной на этот класс ОС. При этом решатель должен поддерживать некоторый стандартный интерфейс управления. Таким интерфейсом могут быть ключи командной строки. В этом случае решатель будет максимально изолирован от системы визуализации, а его создатели не должны будут загромождать его код какими-либо механизмами взаимодействия. Описание команд управления решателем предоставляется серверу системы визуализации в виде XML-файла.

В том случае, если необходимо осуществлять управление решателем в процессе его работы, может быть использован механизм межпроцессного взаимодействия через сигналы, так как он является наиболее простым и не потребует от создателей решателя большого количества дополнительного кода.

Сам процесс визуализации предлагается разделить между клиентом и сервером. Для визуализации на стороне сервера предлагается использовать библиотеку pVTK (параллельный вариант библиотеки VTK). При помощи этой библиотеки можно осуществить эффективный рендеринг на высокопроизводительной вычислительной системе, визуализируя наиболее сложные части сцены, либо части, неизменные в процессе интерактивного просмотра (например, текстуры объектов). Кроме того, предполагается, что сервер будет осуществлять частичное упрощение данных, передаваемых клиенту.

Задача разделения рендеринга решается на сервере; во внимание принимаются быстродействие клиента, скорость передачи данных и текущая загруженность сервера (количество других клиентов, подключенных к нему).

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведённого обзора было выяснено, что на сегодняшний день отсутствуют мультиплатофрменные системы научной визулизации, поддерживающие интеграцию с решателем, который мог бы выполняться на высокопроизводительной массивно-параллельной вычислительной системе. Кроме того, почти полностью отсутствуют мультиплатформенные фреймворки для создания графических интерфейсов пользователя.

В результате проделанной работы была предложена клиент-серверная архитектура мультиплатформенной системы визуализации, в которой поддерживается возможность интеграции с решателем и адаптивное разделение процесса визуализации между клиентом и сервером. Такое разделение обеспечивает наибольшую интерактивность отображаемых сцен и оптимальную нагрузку на вычислительную систему. Также предложены способы автоматизированного создания графических интерфейсов пользователя под платформы с различными парадигмами управления (настольные компьютеры и мобильные устройства).

В настоящий момент реализован прототип клиентской части системы (включая фреймворк для создания графических интерфейсов пользователя по декларативному описанию под различные платформы). Клиентская часть протестирована под управлением операционных систем Windows, GNU / Linux, Mac OS X, iOS и Android. Таким образом, проблема мультиплатформенности была решена.

В качестве дальнейшего развития предполагается интегрировать в клиентскую часть технологии дополненной реальности на основе библиотеки OpenCV [6], а также добавить поддержку построения стереоскопических изображений.

Серверная часть системы находится на этапе проектирования. Вместе с этим

разрабатываются алгоритмы и эвристики для адаптивного разделения процесса визуализации между клиентом и сервером.

Список литературы

1. Clutter [Электронный ресурс]. – URL: http://www.clutter-project.org/ (дата обращения: 11.11.2012).
2. Irrlicht [Электронный ресурс]. – URL: http://irrlicht.sourceforge.net/ (дата обращения: 11.11.2012).
3. KiwiViewer project [Электронный ресурс]. – URL: http://www.kiwiviewer.org/ (дата обращения: 11.11.2012).
4. Necessitas [Электронный ресурс]. – URL: http://sourceforge.net/p/necessitas/home/necessitas/ (дата обращения: 11.11.2012).
5. OGRE [Электронный ресурс]. – URL: http://www.ogre3d.org/ (дата обращения: 11.11.2012).
6. OpenCV [Электронный ресурс]. – URL: http://opencv.org/ (дата обращения: 11.11.2012).
7. Qt [Электронный ресурс]. – URL: http://qt-project.org/ (дата обращения: 11.11.2012).
8. Qt-iPhone [Электронный ресурс]. – URL: http://www.qt-iphone.com/Introduction.html (дата обращения: 11.11.2012).
9. SIO2 [Электронный ресурс]. – URL: http://sio2interactive.com/ (дата обращения: 11.11.2012).
10. Unity3D [Электронный ресурс]. – URL: http://unity3d.com/ (дата обращения: 11.11.2012).
11. *Виноградов М.* Современные средства визуализации и обработки двумерных научных данных // Лаборатория прикладной математики: сайт. – URL: http://www.amlab.ru/paper_max.shtml (дата обращения: 11.11.2012).
12. *Джосан О.В.* Исследование и разработка методов и программных средств визуализации результатов научных вычислений для массивно-параллельных вычислительных систем: дис. канд. физ.-мат. наук. – М., 2009.
13. *Карташева Е.Л., Багдасаров Г.А., Болдарев А.С., Гасилова И.В., Дьяченко С.В., Ольховская О.Г., Шмыров В.А., Болдырев С.Н., Гасилов В.А.* Визуализация данных вычислительных экспериментов в области 3D моделирования излучающей плазмы, выполняемых на многопроцессорных вычислительных системах с помощью пакета Marple // Scientific Visualization: Electronic Journal. 2010-1. URL: http://sv-journal.com/2010-1/01/index.html (дата обращения: 11.11.2012).

05.22.19

В.А. Седов, Н.А. Седова

ФБОУ ВПО «Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского,
Морской институт информационных технологий,
кафедра автоматических и информационных систем,
г. Владивосток, nellyfish81@mail.ru

ГИБРИДНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ СУДНОМ

Разработана модель гибридной интеллектуальной системы управления морским судном, в состав которой входят авторулевой, нейронная сеть для прогнозирования изменения внешних воздействий на судно, а также три нечеткие системы, две из которых определяют уровень внешних воздействий (прогнозных и фактических), а третья – режим функционирования авторулевого. Описаны лингвистические переменные нечётких систем, входящих в гибридную систему, а также представлены их базы нечётких продукций и поверхности нечёткого вывода.

Ключевые слова: *нечёткая логика, скорость ветра, направление течения, сила волнения, лингвистическая переменная.*

Современные условия судоходства выдвигают повышенные требования к стабильности движения морского судна. В настоящее время генеральным направлением развития систем автоматического управления считается переход к интеллектуальным системам. В настоящей работе предлагается модель гибридной интеллектуальной системы управления морским судном, состоящей из авторулевого (АР), в качестве которого может использоваться как АР с пропорционально-интегрально-дифференциальным управлением, так и АР на базе нечеткой логики (например, [1, 2]), нейронной сети (НС), прогнозирующей гидрометеорологические условия (F) эксплуатации морского судна, а также трёх нечетких систем (НЧС) (рис. 1). Первые две НЧС имеют одинаковую внутреннюю структуру и определяют уровень сложности управления морским судном, первая из них (НЧС 1) – по фактическим условиям, а вторая (НЧС 2) – по спрогнозированным с помощью НС. Третья нечёткая система (НЧС 3) предназначена для определения режима функционирования АР в зависимости от сложности гидрометеорологических условий эксплуатации судна и их изменений.

Модели НЧС 1 и НЧС 2 учитывают следующие факторы, вносящие существенный вклад на управляемость морским судном и объявленные входными лингвистическими переменными (ЛП): скорость ветра, направление течения и сила волнения. Влияние ветра на скорость и направление движения морского судна является доминирующим фактором. Учитывая данные таблицы Бофорта [4], первая входная ЛП «скорость ветра» (рис. 2(а)) состоит из трёх термов (слабая, умеренная, сильная), универсальное множество (УМ) которых является интервалом [0, 25] м/с. Волнение затрудняет управление, вызывает бортовую и килевую качку, сильная волна осложняет работу винта, который вместе с кормой может периодически оголяться, что понижает упор винта, уменьшает скорость движения судна, снижает действие винта на перо руля.

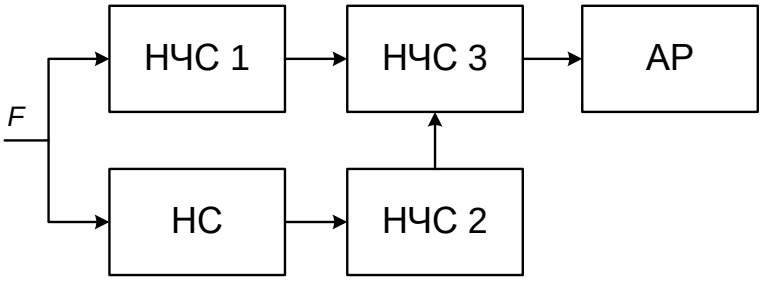


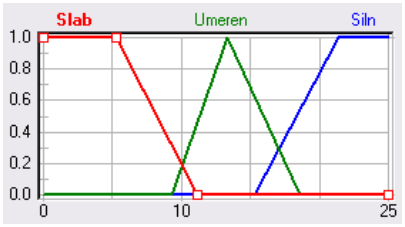
Рис. 1 – Структурная схема гибридной системы управления судном

Удары волн мешают своевременно и быстро перекладывать руль. На волне труднее выбрать и удержать заданный курс. В качестве УМ термов для второй ЛП «волнение» выбрано множество [0, 9] баллов [4] (рис. 2(б)). Течение также оказывает большое влияние на управление и маневренные элементы судна относительно берегов. В качестве третьей входной ЛП выступает «направление течения», выраженное в процентном соотношении (рис. 2(в)). Выходная ЛП «уровень сложности управления морским судном» также определяется в процентах, а соответствующие функции принадлежности показаны на рис. 2 (г).

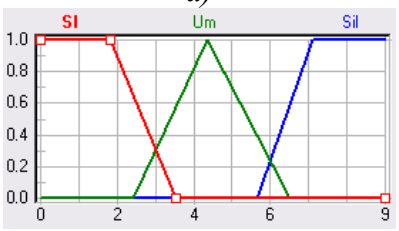
Модель нечёткой системы определения уровня сложности управления морским судном состоит из 27 правил нечётких продукций (рис. 2(е)), которые в среде FuzzyTECH [3, 5] представляются следующим образом – через slab обозначен терм «слабая» ЛП «скорость ветра», umeren – «умеренная», siln – «сильная»; sl, um и sil обозначают термы «слабое», «умеренное» и «сильное» для ЛП «волнение»; через vstr, bokov и poputn обозначены термы «встречное», «боковое» и «попутное» соответственно ЛП «направление течения». Термы выходной ЛП «уровень сложности управления морским (речным) судном» обозначены через ON – «очень низкий», N – «низкий», SR – «средний», V – «высокий», OV – «очень высокий». Визуализация поверхности нечёткого вывода представлена на рис. 2(ж) и демонстрирует зависимость выходной ЛП от первых двух входных ЛП – скорости ветра и высоты волны (аналогичные поверхности можно продемонстрировать и для оставшихся двух сочетаний входных ЛП).

Тестирование нечёткой системы определения уровня сложности управления судном показало ее работоспособность. Пример функционирования НЧС показан на рис 2 (д): так, для силы ветра – 24 м/с, волнения моря – 8 баллов и направления течения – боковое (45%) значение 95%, выданное НЧС соответствует терму «очень высокий уровень сложности», что согласуется с экспертными оценками.

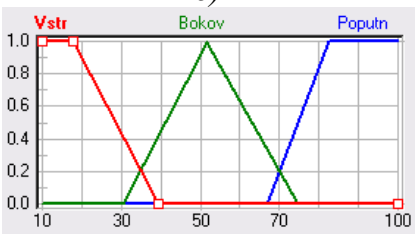
Далее рассмотрим нечеткую систему определения режима функционирования авторулевого (НЧС 3). Для этого введём две входные ЛП, первая из которых характеризует фактический уровень сложности управления судном (Level_1), а вторая – прогнозный (Level_2).



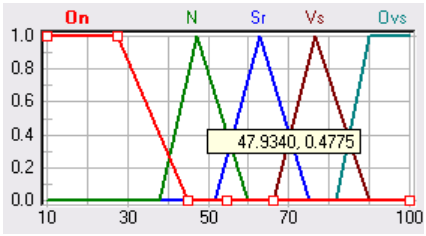
а)



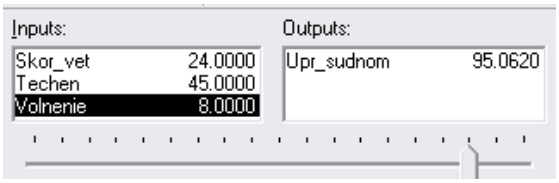
б)



в)



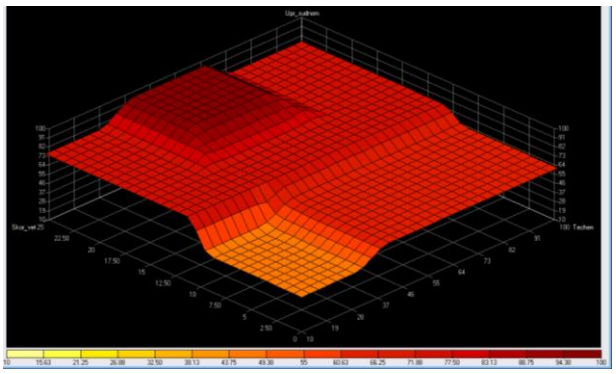
г)



д)

#	IF			THEN	
	Skor_vet	Techen	Volnenie	DoS	Upr_sudnom
1	Slab	Vstr	Sl	1.00	On
2	Slab	Vstr	Um	1.00	N
3	Slab	Vstr	Sil	1.00	N
4	Slab	Bokov	Sl	1.00	Sr
5	Slab	Bokov	Um	1.00	Sr
6	Slab	Bokov	Sil	1.00	Sr
7	Slab	Poputn	Sl	1.00	N
8	Slab	Poputn	Um	1.00	Sr
9	Slab	Poputn	Sil	1.00	Sr
10	Umeren	Vstr	Sl	1.00	N
11	Umeren	Vstr	Um	1.00	Sr
12	Umeren	Vstr	Sil	1.00	Vs
13	Umeren	Bokov	Sl	1.00	Sr
14	Umeren	Bokov	Um	1.00	Vs
15	Umeren	Bokov	Sil	1.00	Vs
16	Umeren	Poputn	Sl	1.00	Sr
17	Umeren	Poputn	Um	1.00	Vs
18	Umeren	Poputn	Sil	1.00	Vs
19	Siln	Vstr	Sl	1.00	Sr
20	Siln	Vstr	Um	1.00	Sr
21	Siln	Vstr	Sil	1.00	Vs
22	Siln	Bokov	Sl	1.00	Sr
23	Siln	Bokov	Um	1.00	Vs
24	Siln	Bokov	Sil	1.00	Ovs
25	Siln	Poputn	Sl	1.00	Sr
26	Siln	Poputn	Um	1.00	Vs
27	Siln	Poputn	Sil	1.00	Vs

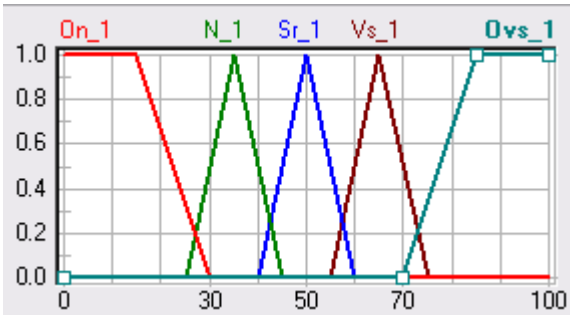
е)



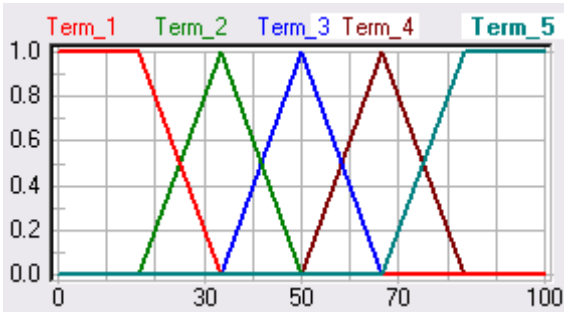
ж)

Рис. 2 – Функции принадлежности первой *(а)*, второй *(б)* и третьей *(в)* входных ЛП, функции принадлежности выходной *(г)* ЛП, правила нечётких продукций *(е)*, поверхность нечёткого вывода *(ж)* и пример функционирования *(д)* для нечёткой системы определения уровня сложности управления (НЧС 1 и НЧС 2)

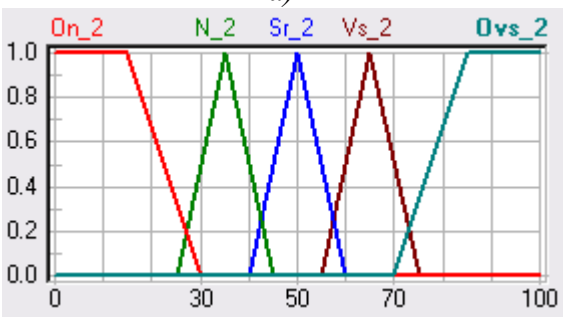
Термы {«очень низкий», «низкий», «средний», «высокий», «очень высокий»} обеих входных ЛП заданы на универсуме [0, 100]. Выходная ЛП также состоит из пяти термов, при этом первый терм (Term_1) соответствует необходимости использования ручного режима управления судном, пятый терм (Term_5) – возможности использования полностью автоматического режима управления, 2 и 4 термы (Term_2 и Term_4 соответственно) показывают необходимость подачи звукового и светового сигналов, предупреждающих о возможности изменения режимов, третий терм (Term_3) используется для обозначения работы в текущем режиме. На рис. 3 показаны термы всех введённых ЛП.



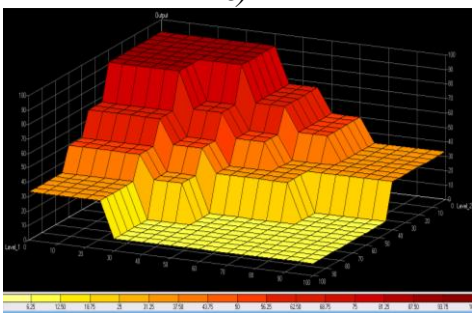
а)



в)



б)



г)

Рис. 3 – Функции принадлежности первой *(а)* и второй *(б)* входных ЛП, функции принадлежности выходной *(в)* ЛП и поверхность нечёткого вывода *(г)* для НЧС 3

Система нечётких продукций НЧС 3 состоит из 25 правил, на рис. 3(г) показана трехмерная поверхность нечёткого вывода. Тестирование модели нечёткой системы определения режима функционирования авторулевого на нескольких примерах показало её адекватность моделируемым ситуациям.

Заключение

Таким образом, предложена модель гибридной системы управления судном, которая учитывает не только фактические гидрометеорологические условия плавания судна, а также и прогнозирует их, тем самым прогнозируя и необходимость своевременного изменения режима и закона управления судном. Представленные модели нечётких систем, входящих в гибридную систему, прошли компьютерное тестирование, показавшее их работоспособность. Дальнейшие исследования будут направлены на проведение комплексных испытаний разработанной гибридной системы управления морским судном.

Список литературы

1. *Глушков С. В.* Автоматическое управление курсом судна с использованием регулятора на нечеткой логике // МЕХАТРОНИКА, АВТОМАТИЗАЦИЯ, УПРАВЛЕНИЕ. № 12. – М.: Новые технологии, 2007. – 32-36 с.

2. *Глушков С. В.* Использование нечеткой логики в системе автоматического управления курсом судна // ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ. УПРАВЛЕНИЕ, КОНТРОЛЬ, ДИАГНОСТИКА. № 8. – М.: Научтехлитиздат, 2007. – 28-32 с.

3. *Леоненков А. В.* Нечёткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. СПб: БХВ-Петербург, 2005 – 736 с.

4. Наставление ВМО-№ 0306 по кодам. Том I.1. Международные коды. Часть А – Буквенно-цифровые коды. Женева: Всемирная Метеорологическая Организация, 2012. – 523 с.

5. *Седова Н. А.* Разработка интеллектуальных систем на базе нечеткой логики в FuzzyTech (методические указания к лабораторной работе). Владивосток: МГУ им. адм. Г.И. Невельского, 2012, 56 с.

05.17.08

[1]А.А. Селиверстов, [1]И.Е. Тимофеев к.т.н., [2]С.Х. Загидуллин д.т.н.

[1]Березниковский филиал Пермского национального исследовательского политехнического университета, кафедра «Технологии и механизации производств»,
г. Березники, seliverstovartem@yandex.ru

[2]Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
кафедра «Машин и аппаратов производственных процессов»,
г. Пермь

К ВОПРОСУ О НАЛИПАНИИ МАТЕРИАЛА НА РАБОЧИЕ ПОВЕРХНОСТИ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ СУШИЛОК

Описан характер движения материала в пневматической трубе-сушилке и проанализированы причины его налипания на рабочие поверхности аппарата. Описана оригинальная конструкция пневматической сушилки, в которой предложен новый подход к решению проблемы налипания.

Ключевые слова*: пневматическая сушилка, налипание, хлорид калия*.

Для конвективной сушки минерального сырья в крупнотоннажных производствах широко применяются аппараты следующих типов: барабанные сушилки (БС), пневматические трубы-сушилки (ТС) и сушилки с псевдоожиженным (кипящим) слоем (КС) [1, 2]. При этом специфические свойства конкретного высушиваемого материала оказывают существенное влияние на конструктивное оформление сушильных аппаратов. Например, при сушке хлорида калия (KCl) требуется удалить лишь свободную влагу и влагу макрокапилляров, но материал склонен к комкованию и налипанию на рабочие поверхности аппаратов. Этот недостаток в работе сушилок для KCl известен на основе длительного опыта эксплуатации сушильных аппаратов в производстве калийных удобрений: так БС используются с 50-х, а КС и ТС – с 60-х годов прошлого века [3].

Для уменьшения налипания материалов в сушильных барабанах применяются различные конструкции цепных навесок, при помощи которых разрушаются комки и очищаются внутренние стенки барабана. Для этой же цели наружная обшивка барабана может снабжаться специальными ударными молотками, которые при его вращении периодически отходят от корпуса и ударяют по нему [2, 4]. Однако эти приемы недостаточно эффективны, и в настоящее время применение БС в калийной промышленности ограниченно.

Сушилки КС могут работать в довольно узком диапазоне скоростей движения теплоносителей. В случае несоблюдения оптимального гидродинамического и температурного режимов может наблюдаться заплавление отверстий газораспределительной решётки, образование комков и даже коробление решётки [1]. Возникновение застойных зон и участков локального перегрева во многом зависит от конструкции газораспределительной решётки и более характерно для аппаратов КС прямоугольного сечения. Для материалов, склонных к комкованию и налипанию, в мало- и среднетоннажных производствах используют сушилки с различными механическими побудителями, которые способствуют достижению устойчивого гидродинамического режима в аппарате, например, сушилки виброкипящего или виброаэрокипящего слоя, аппараты с мешалками, ворошителями и другими приспособлениями [4].

Применение ТС наиболее предпочтительно для полидисперсных материалов, нормальное псевдоожижение которых затруднительно. К таким материалам относится и KCl, получаемый как флотационным, так и галургическим методами. К достоинствам ТС относятся простота

устройства и легкость обслуживания, меньшая металлоемкость, работа под разрежением и наименьшая разность температур между высушенным продуктом и отработанным теплоносителем.

Основным препятствием более широкому внедрению ТС на калийных предприятиях является интенсивное налипание материала, особенно в зоне его загрузки [1]. Налипание начинается несколько выше места подачи материала, в результате чего через определённое время уменьшается проходное сечение трубы, и повышается разрежение в сепарационной камере. По этой причине аппарат приходится довольно часто останавливать для очистки от налипших комков [5].

Решению проблемы налипания материалов при сушке в ТС, в частности перманганата калия, посвящена работа [6]. В ней предложено у основания питателя установить диафрагму, а забрасыватель материала снабдить переходником, направленным вверх под углом к оси трубы 30-45º. Это, по мнению авторов, обеспечивает направленное движение забрасываемого материала, исключающее его налипание на противоположную стенку трубы. О применении такого приёма при производстве KCl сведений нет. Однако используемые в ТС для сушки KCl забрасыватели сконструированы по аналогичному принципу. Тем не менее, это не устраняет проблему налипания на стенки пневмотрубы.

Таким образом, возможности устранения указанных недостатков путём технического совершенствования отдельных узлов существующих аппаратов уже практически исчерпаны. Поэтому актуальным является разработка принципиально новых конструкций аппаратов, лишённых типичных проблем сушилок для KCl. Вместе с тем, указанные аппараты должны обладать преимуществами эксплуатируемых сегодня сушилок: иметь высокую производительность и простую конструкцию, использовать активный гидродинамический режим.

Визуальные наблюдения за движением частиц KCl показывают, что после подачи материала внутрь пневмотрубы он концентрируется преимущественно в центре и движется вверх в виде своеобразного «жгута». Вероятно, это связано с бóльшим разрежением в центральной области трубы. В процессе сушки по мере испарения влаги разрежение внутри «жгута» понижается, что приводит к его разрыву. В результате частицы материала разбрасываются в периферическую область трубы и налипают на её стенки. На вышерасположенном участке пневмотрубы наблюдается относительно равномерное распределение частиц по поперечному сечению.

Налипание влажных материалов на стенки сушильных аппаратов связано как с адгезионно-когезионными свойствами высушиваемых материалов, так и с характером их сушки в условиях контакта с нагретой поверхностью. В работе [2] показано, что минимальное налипание KCl наблюдаются при температуре поверхности до 50°С. При нагреве до 80°С склонность к налипанию сначала резко возрастает, а в дальнейшем монотонно снижается и при температуре 200°С практически полностью устраняется.

В процессе сушки температура теплоносителя и стенок сушилки по высоте трубы быстро падают. По этой причине налипание влажного материала на стенках ТС наиболее интенсивно происходит на начальном (разгонном) участке. Этому способствует также то, что здесь скорость частиц материала является наименьшей. Например, нами установлено, что в ТС с диаметром трубы 1,1 м на Третьем Березниковском калийном производственном рудоуправлении ОАО «Уралкалий» на высоте чуть более 1 м от места подачи материала температура стенок снижается до 200°С, и вышерасположенный участок пневмотрубы подвержен интенсивному налипанию. На практике данный участок высотой 2,5 м от места подачи материала укрепляют стальными листами, так как он подлежит периодической механической очистке обстукиванием [5].

Налипание на высоте более трёх метров практически не наблюдается. Это объясняется тем, что на расстоянии 3-4 м от места ввода материала испаряется большая часть влаги [2, 3].

По нашему мнению кардинальное решение проблемы налипания влажного материала при сушке возможно при такой организации движения потоков в аппарате, при которой

исключается контакт частиц со стенками. Такая организация взаимодействия потоков теплоносителя и высушиваемого материала требуется лишь на начальном участке от места их смешения. Данный принцип наиболее полно реализуется в разработанной нами новой конструкции пневматической трубы-сушилки [7], схематично изображённой на рис.1.

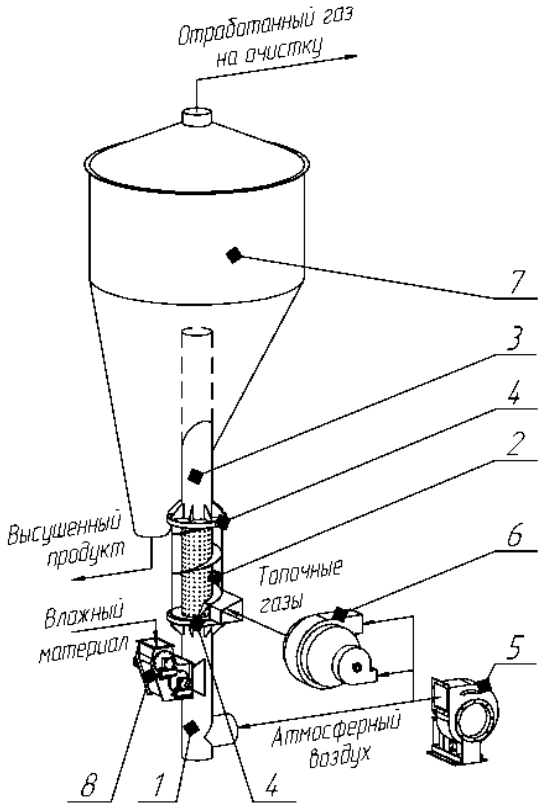


Рис. 1 – Пневматическая сушилка
1 – нижняя секция, *2* – средняя секция, *3* – верхняя секция, *4* – тепло-изоляционная вставка, *5* – вентилятор, *6* – топка, *7* – разгрузочное устройство, *8* – питатель

В ней пневмотруба выполнена секционной. Нижняя секция *1* присоединена к дутьевому вентилятору *5* и питателю влажного материала *8*. Средняя секция *2* выполнена в виде двух концентрических обечаек, внутренняя из которых снабжена отверстиями, а наружная является сплошной. В кольцевом зазоре между этими обечайками размещён спиральный канал переменного сечения, в который через тангенциально расположенный патрубок подается теплоноситель из топки *6*. Секции разделены вставками из теплоизоляционного материала *4*, что позволяет предотвратить распространение тепла из более нагретой средней секции *2* в нижнюю *1*. Благодаря этому стенки нижней секции не нагреваются, и влажный материал не налипает на их поверхности.

Влажный материал с помощью питателя *8* вводится в поток атмосферного воздуха и смешивается с ним, образуя в нижней секции восходящий поток газовзвеси. Эта газовзвесь поступает в среднюю секцию, куда через отверстия во внутренней обечайке вводится горячий теплоноситель.

Использование струйного ввода теплоносителя позволяет оттеснить поток газовзвеси от стенок и предотвратить налипание частиц на внутренней поверхности средней секции. Высокая температура стенок средней секции (более 200°С) служит дополнительным фактором, предотвращающим налипание.

Для этой же цели диаметр нижней секции может быть меньше диаметра средней. Благодаря этому поток газовзвеси, вводимый в центральную часть средней секции, отделён от стенок потоком горячего теплоносителя, движущимся радиально от периферии к центру. Это позволяет также увеличить скорость потока воздуха в нижней секции и снизить вероятность выпадения крупных частиц из потока.

В настоящее время предлагаемая конструкция пневматической сушилки проходит испытания на пилотной установке, представленной на рис.2.

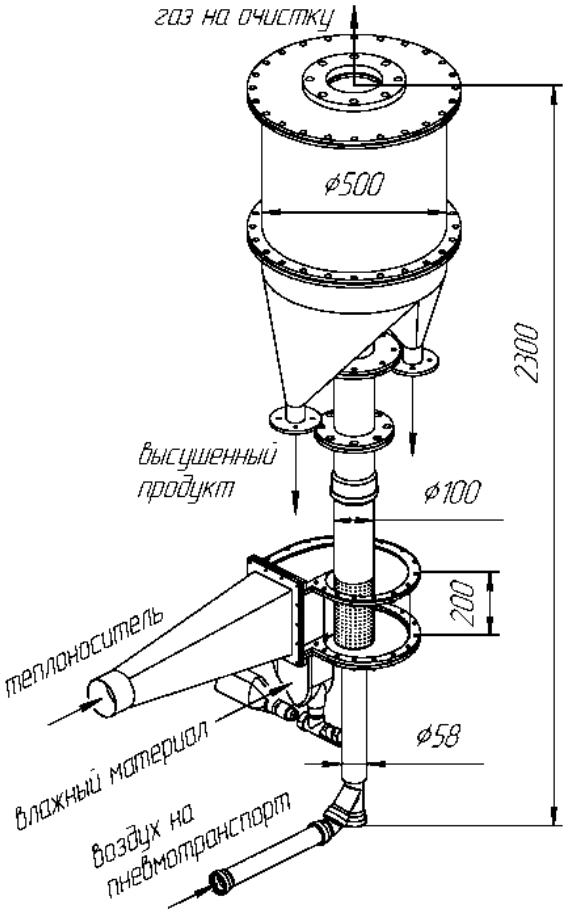


Рис. 2 – Схема пилотной установки

В ней спиральный канал средней секции выполнен в виде улиты, рассчитанной таким образом, чтобы внутри канала поддерживалось постоянное статическое давление. За счёт этого струи газа (теплоносителя) проникают внутрь пневмотрубы в направлении, наиболее приближенном к радиальному, и равномерно распределяются по сечению трубы.

Решение проблемы налипания материала на рабочие поверхности пневматических сушилок позволит повысить надёжность работы указанных аппаратов и расширить область их применения.

Список литературы

1. *Романков П.Г., Рашковская Н.Б.* Сушка во взвешенном состоянии. - Л.: Химия, 1979. – 272 с.

2. *Филиппов В.А.* Конструкция, расчет и эксплуатация устройств и оборудования для сушки минерального сырья. - М.: Недра, 1979. – 309 с.

3. *Тимофеев И.Е.* Особенности процесса сушки хлорида калия в пневматической трубе сушилке: дис. канд. техн. наук. - Пермь, 2008 – 169 с.

4. *Сажин Б.С.* Основы техники сушки. - М.: Химия, 1984. – 320 с.

5. Инструкция по обслуживанию сушильных аппаратов БКПРУ-3 ОАО «Уралкалий». - изд. 1-е. - Березники, 2005. – 17 с.

6. А. с. 488049 СССР, М. кл. F26B 17/10. Пневмотруба для сушки комкующихся дисперсных материалов / В.П. Николаенко [и др.]. - № 1998420/24-6; заявл. 21.02.74; опубл. 15.10.76. Бюл. № 38.

7. Патент РФ № 2011131360/06, 26.07.2011. Селиверстов А.А., Тимофеев И.Е., Шестаков Е.А., Шестаков С.А. Пневматическая сушилка // Патент России № 2476792. 2013. Бюл. № 6.

05.13.18

Ю.В. Стародубцева

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина,
Институт математики и компьютерных наук,
кафедра вычислительной математики,
Екатеринбург, starodubtsevayv@ya.ru

ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ ОБРАТНОЙ ГРАНИЧНОЙ ЗАДАЧИ РЕГУЛЯРИЗОВАННЫМ МЕТОДОМ ЛЕВЕНБЕРГА-МАРКВАРДТА

В работе описывается регуляризованный метод Левенберга-Марквардта для решения некорректной обратной граничной задачи для модели тепловой конвекции высоковязкой несжимаемой неоднородной жидкости. Приводятся алгоритмы численного моделирования и результаты вычислительных экспериментов.

Ключевые слова: *высоковязкая жидкость, обратная граничная задача, метод Левенберга-Марвкардта, регуляризация.*

Постановка задачи

В области $\Omega = (0, l_1) \times (0, l_2) \subset R^2$, наблюдается движение высоковязкой неоднородной теплопроводной несжимаемой жидкости под действием гравитационного и теплового полей. Математическая модель, описывающая установившееся движение такой жидкости, представлена следующими обезразмеренными уравнениями [1-3]

$$\mu \Delta \vec{u} = \nabla p - Ra T \vec{e}_2, \ x \in \Omega, \tag{1}$$

$$div \vec{u} = 0, \ x \in \Omega, \tag{2}$$

$$div(k \nabla T) = (\vec{u}, \nabla T), \ x \in \Omega, \tag{3}$$

где $x = (x_1, x_2)$ – точка пространства R^2, $\mu = \mu(x_1, x_2)$ – вязкость среды, $\vec{u}(x) = (u_1(x_1, x_2), u_2(x_1, x_2))$ – вектор скорости движения среды, $p = p(x_1, x_2)$ – давление, Ra – число Рэлея, $T = T(x_1, x_2)$ – температура, $\vec{e}_2$ – орт на оси Ox_2, $k = k(x_1, x_2)$ –коэффициент теплопроводности.

На границе области $\Gamma = \partial\Omega = \bigcup_{i=0}^{2} \Gamma_i$, $\Gamma_0 = \{(0, x_2) \cup (l_1, x_2) : 0 \le x_2 \le l_2\}$,

$\Gamma_1 = \{(x_1, 0) : 0 \le x_1 \le l_1\}$, $\Gamma_2 = \{(x_1, l_2) : 0 \le x_1 \le l_1\}$, задаются следующие условия

$$\vec{u} = 0, \ x \in \Gamma; \ k \frac{\partial T}{\partial \vec{n}} = 0, \ x \in \Gamma_0; \ T = w, \ x \in \Gamma_2, \tag{4}$$

$$k \frac{\partial T}{\partial \vec{n}} = \varphi, \ x \in \Gamma_2.$$

По имеющимся данным требуется восстановить температурный режим

$$T = v, \ x \in \Gamma_1. \tag{5}$$

Рассматриваемая задача относится к классу обратных граничных задач и является некорректной [4, 5]. Для ее решения предлагается воспользоваться регуляризованным методом Левенберга-Марквардта [6].

Описание метода

Введем следующий оператор

$$A : v \to k(x_1, l_2) \partial T_v(x_1, l_2) / \partial x_2, \ 0 \le x_1 \le l_1,$$

где $(T_v, \vec{u}_v)$ — решение прямой задачи (1)-(5).

Тогда восстановление температурного режима $T = v,\ x \in \Gamma_1$, сводится к решению операторного уравнения

$$A(v) = \varphi .$$

Метод Левенберга-Марквардта имеет следующий вид:

$$v^{k+1} = v^k - [A'(v^k)^* A'(v^k) + \alpha_k E]^{-1} A'(v^k)^* (A(v^k) - \varphi),$$

где $\alpha_k > 0$— параметры метода, оператор $A'(v^k)$ – производная по Фреше оператора A в точке v^k , оператор $A'(v^k)^*$— оператор сопряженный к оператору $A'(v^k)$.

Модифицируем метод Левенберга-Марквардта введением весового коэффициента $\beta_k > 0$:

$$v^{k+1} = v^k - \beta_k [A'(v^k)^* A'(v^k) + \alpha_k E]^{-1} A'(v^k)^* (A(v^k) - \varphi).$$

Оператор $A'(v^k)$ действует следующим образом

$$A'(v^k)h = k(x_1, l_2)\partial T(x_1, l_2)/\partial x_2,\ 0 \le x_1 \le l_1,$$

где $(T, \vec{u})$— решение краевой задачи

$$\mu\Delta\vec{u} = \nabla p - RaT\vec{e}_2 = 0,\ x \in \Omega;\ \ div\vec{u} = 0,\ x \in \Omega,$$

$$div(k\nabla T) = (\vec{u}_v, \nabla T) + (\vec{u}, \nabla T_v),\ x \in \Omega,$$

$$\vec{u} = 0,\ x \in \Gamma;\ \ T = 0,\ x \in \Gamma_2;\ \ \frac{\partial T}{\partial \vec{n}} = 0,\ x \in \Gamma_0;\ \ T = h,\ x \in \Gamma_1.$$

Оператор $A'(v^k)^*$ действует следующим образом

$$A'(v^k)^*\psi = -k(x_1, 0)\partial\omega(x_1, 0)/\partial x_2,\ 0 \le x_1 \le l_1,$$

где $(\omega, \vec{z})$— решение краевой задачи

$$\mu\Delta\vec{z} + \omega\nabla T_v = 0,\ x \in \Omega;\ div\vec{z} = 0,\ x \in \Omega,$$

$$div(k\nabla\omega) + (\vec{u}_v, \nabla\omega) = Ra(\vec{z}, \vec{e}_2),\ x \in \Omega,$$

$$\vec{z} = 0,\ x \in \Gamma;\ \ \omega = 0,\ x \in \Gamma_1;\ \ \frac{\partial\omega}{\partial\vec{n}} = 0,\ x \in \Gamma_0;\ \ \omega = \psi,\ x \in \Gamma_2.$$

Параметры α_k, β_k вычисляются из условия минимума невязки.

Численный эксперимент

При расчетах фиксировались параметры

$$l_1 = l_2 = 1,\ k = 1,\ \mu = 1,\ Ra = 10^{-3}.$$

В области Ω введена сетка 30×30 узлов.

Решались две обратные граничные задачи:

пример 1: гладкий режим

$$v_1(x_1) = \cos(2.0\pi x_1),\ x_1 \in [0,1];$$

пример 2: разрывный режим

$$v_2(x_1) = \begin{cases} 0, & x_1 \in [0,0.5], \\ \cos(2.0\pi x_1), & x_1 \in (0.5,1]. \end{cases}$$

В качестве начального приближения выбиралось $v^0 = 0$.

На рис. 1, рис. 3 приведены точные решения (сплошная линия) и результаты численного моделирования: промежуточная итерация (штрихи) и конечная итерация (пунктир), горизонтальная ось — ось Ox_1, вертикальная ось — ось Ov. На рис. 2, рис. 4 показан график зависимости относительной погрешности $\varepsilon = \varepsilon(k) = \|v^k - v\| / \|v\|$ (вертикальная ось) восстановления от номера итерации k (горизонтальная ось).

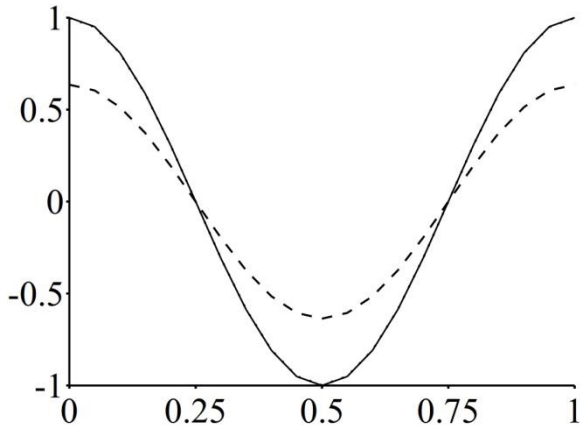


Рис. 1 - Результат восстановления в примере 1

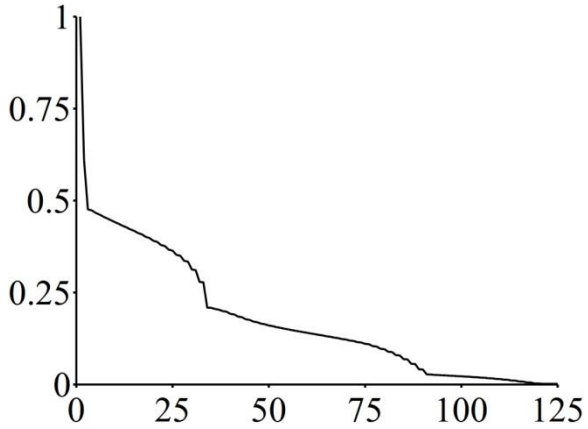


Рис. 2- Относительная погрешность в примере 1

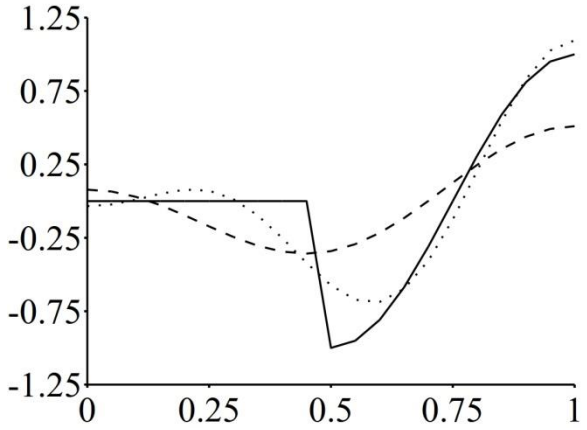


Рис. 3- Результат восстановления в примере 2

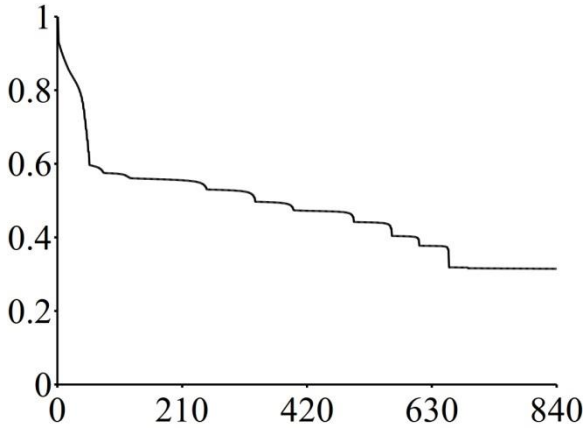


Рис. 4- Относительная погрешность в примере 2

Заключение

В работе решалась задача восстановления температурного режима на одной из частей границы области, в которой наблюдается движение высоковязкой жидкости, по дополнительным данным на другой части границы. Для решения задачи построена модификация метода Левенберга-Марквардта. Проведена серия вычислительных экспериментов для гладкого и разрывного граничных режимов. Представлены результаты численного моделирования. Описанный регуляризированный метод обладает некоторой «сходимостью». На гладких режимах модифицированный метод работает лучше, необходимое качество приближения достигается за меньшее число итераций.

Работа поддержана программой межрегиональных и межведомственных фундаментальных исследований Президиума УрО РАН (проект 12-С-1-1001), программой АВЦП 1.994.2011 «Устойчивые вычислительные методы анализа динамики сложных систем» и РФФИ (проект 11-01-00073).

Список литературы

1. *Ладыженская А.О.* Математические вопросы динамики вязкой несжимаемой жидкости. М.: Физматгиз, 1961, 288 с.
2. *Исмаил-Заде А.Т., Короткий А.И., Наймарк Б.М., Цепелев И.А.* Численное моделирование трехмерных вязких течений под воздействием гравитационных и тепловых полей // ЖВМиМФ. 2001. Т. 41. №9. С.1399–1415.
3. *Короткий А.И., Цепелев И.А.* Прямые и обратные задачи динамики высоковязкой жидкости // Автоматика и телемеханика. 2007. № 5. С.84–96.
4. *Кабанихин С.И.* Обратные и некорректные задачи. Новосибирск: Сибирское научное издательство, 2009, 457 с.
5. *Самарский А.А, Вабищевич П.Н.* Численные методы решения обратных задач математической физики. М.: УРСС, 2004, 478 с.
6. *Васин В.В., Еремин И.И.* Операторы и итерационные процессы фейеровского типа. Теория и приложения. Москва-Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2006, 199с.

05.13.18

Ю.А. Степанов

Новокузнецкий институт (филиал)
ФГБОУ ВПО Кемеровского государственного университета,
г. Новокузнецк, dambo290@yandex.ru

О СПОСОБЕ ВИЗУАЛИЗАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАБОТЫ ОЧИСТНОГО ЗАБОЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛЕКТРОННЫХ КАРТ

В статье рассмотрен один из способов визуализации результатов компьютерного моделирования технологических процессов выемки угля, что позволит принимать эффективные управленческие решения для ведения высокоинтенсивных, безаварийных горных работ.

Ключевые слова: *геоинформационное моделирование, электронное картографирование, выемка угля.*

Современное горное механизированное предприятие, выполняя свои основные функции, связанные с добычей полезного ископаемого, его транспортировкой и частичной переработкой, реализует большое количество разнообразных производственных технологических процессов, синхронизированных во времени и пространстве. Добыча полезного ископаемого сопровождается и различного рода геомеханическими процессами, в том числе горными ударами и внезапными выбросами угля и газа.

Надлежащее качество управления (регулирования) таким сложным объектом может быть достигнуто только путем изучения пространства различных технологических и геомеханических закономерностей. Для ускорения процесса приобретения знаний производятся различного рода вычислительные эксперименты с использованием компьютерной техники.

Большая часть практических задач, решаемых с помощью МКЭ, связана с анизотропными средами. Так при расчете нагрузок, действующих на механизированную крепь, имеем сложную систему, в которой принимают участие анизотропный углепородный массив, выработанное пространство и секция механизированной крепи. Принципиальным отличием этой системы является изменение ее геометрических и механических параметров во времени и пространстве. В этих условиях применение современных численных методов моделирования движения окружающей среды и механизированной крепи требует постоянного изменения формы, размеров и деформированных свойств материала конечных элементов.

Аналитические методы исследования позволяют определить напряженно-деформированное состояние массива в общем виде. Известно, что для изучения геомеханических процессов перспективными являются методы механики сплошной среды (теория упругости, пластичности, ползучести, предельного равновесия). Однако из-за специфических свойств горных пород (анизотропии, неоднородности, трещиноватости), предопределяющих особенности процессов деформирования и разрушения, строгие аналитические методы не дают возможности оценивать количественные показатели, а следовательно, и принимать конкретные горнотехнические решения.

В связи с этим заслуживают внимания разработки компьютерных моделей геотехногенных систем (горных выработок) с использованием численных методов решения горнотехнических задач для прогнозной оценки геомеханических ситуаций, экспертизы проектов, разработки рекомендаций по обеспечению эксплуатационного состояния объектов. В целях уменьшения затрат на проведение исследований и экспериментов возникает необходимость создания модельных структур с использованием ПЭВМ. В частности, перед

началом очистных работ необходимо промоделировать поведение крепей в зависимости от геомеханических условий. В одной и той же лаве могут изменяться условия взаимодействия механизированных крепей с породами кровли, особенно на локальных участках, отличающихся по литографическому составу пород кровли, их физико-механическим свойствам, что обуславливает различную тяжесть нагружения секций механизированных крепей и, следовательно, может приводить к аварийным ситуациям.

Решение многих проблем в теории горной технологии возможно на основе принципов имитационного моделирования. Их использование позволяет в рамках единой теоретической схемы описать функционирование и взаимодействие технологических подсистем и горной среды с учетом пространственно-временной динамики горных работ.

Визуализация данных - это наглядное представление больших массивов числовой и другой информации, которое представляется возможным благодаря использованию компьютерной графики. Продукты визуализации данных могут легко интегрироваться в информационные системы и системы поддержки принятия решений. Система визуализации данных играет важную роль для программного обеспечения ГИС. Проектированию этой системы, наряду с проектированием системы хранения и редактирования данных, обычно уделяется наибольшее значение.

В процессе визуализации пространственных данных, актуальных для угледобывающей отрасли существует ряд проблем. В первую очередь стоит отметить то, что большинство карт являются тематическими, что подразумевает вариативность их возможностей, назначения и интерактивность. Каждая из тематических карт является уникальной и служит для строго определённого круга задач. Например, тематическая карта угольного месторождения представляет собой трёхмерную модель углепородного массива. Обычными возможностями такой карты является работа со слоями, получение атрибутивных характеристик и геологических срезов. Такой набор операций не соответствует возможностям работы с типовой электронной картой.

При создании шахтного поля на тематической карте фиксируются три точки которые привязываются к географическим показателям – долгота и широта. Положения этих точек таковы, что они определяют размер и геометрию шахтного поля. Линия (плоскость) от которой будет осуществляться движение очистного забоя будет являться нулевой отметкой для моделирования геомеханических процессов при ведении выемочных работ. В результате получаем дискретную область в которой по длине выемочного столба дискрета равна шагу передвижки механизированного комплекса (0,63 или 0,8 м.), а по ширине – ширине механизированной крепи, например 1,5 м. В узлах такой сети будут рассчитаны смещения пород, а в середине дискретного элемента – напряжения.

Зачастую исследования проводятся при фиксированных положениях забоя без учета предыдущего напряженно-деформированного состояния и изменения механических характеристик боковых пород. В действительности при проведении выемочных работ и циклическом движении очистного забоя геомеханические процессы, протекающие в породах, имеют достаточно сложный характер. В результате многократного приложения и снятия усилия секциями крепи к непосредственной кровле механические свойства породных слоев изменяются, что приводит к преждевременному обрушению пород кровли с образованием куполов и вспучиванию пород почвы[1].

При прогнозировании геомеханических параметров взаимодействия механизированных крепей циклически движущихся очистных забоев с углепородным массивом необходимо учитывать предшествующее состояние и прогрессирующую дезинтеграцию горных пород в зоне техногенного воздействия, что позволит получать более достоверные результаты. Достаточно напомнить, что массив горных пород в окрестности выработки из стадии упругого деформирования в объемном напряженном состоянии через стадии пластичности и ползучести как сплошное тело трансформируется на границе с выработкой в дискретную, раздельно блочную среду с соответствующими изменениями функциональных зависимостей между напряжениями и деформациями до полной потери закономерной связи.

Прогнозирование предложено осуществлять с помощью пошаговой процедуры на основе имитационного моделирования процесса взаимодействия углепородного массива с угледобывающим комплексом. Имитационное моделирование при этом осуществляется путем вычислительного эксперимента, проводимого на персональном компьютере с математической моделью, имеющей возможность поднастройки на основе актуализированных данных геомониторинга. Поднастройку математической модели удобно производить с помощью поисковых методов с деформируемыми конфигурациями, реализующих пошаговое движение в пространстве настраиваемых параметров. [2]

В результате проведенного исследования пользователи получают большие массивы данных напряжений и деформаций. Из этих массивов необходимо достаточно часто извлекать данные о конкретных локальных областях, систематизировать их по требуемым параметрам и отображать в графической форме. Это требует, с одной стороны, разработку средств навигации, а с другой стороны, разработку средств деловой графики. Программы, решающие указанные задачи, представляют собой специализированные браузеры. Такая программа позволяет с помощью щелчка мыши выбирать интересующие исследователя узлы или конечные элементы. Для выбранных узлов или элементов можно вывести те или иные параметры, полученные в результате расчетов. Результаты исследования могут быть представлены в виде полей напряжений или смещений в исследуемом углепородном массиве или в виде графиков как в специализированных редакторах, так и в коммерческих приложениях. Вид окна специализированного редактора с отображением результатов расчета полных горизонтальных напряжений в конечных элементах представлен на рисунке 1.

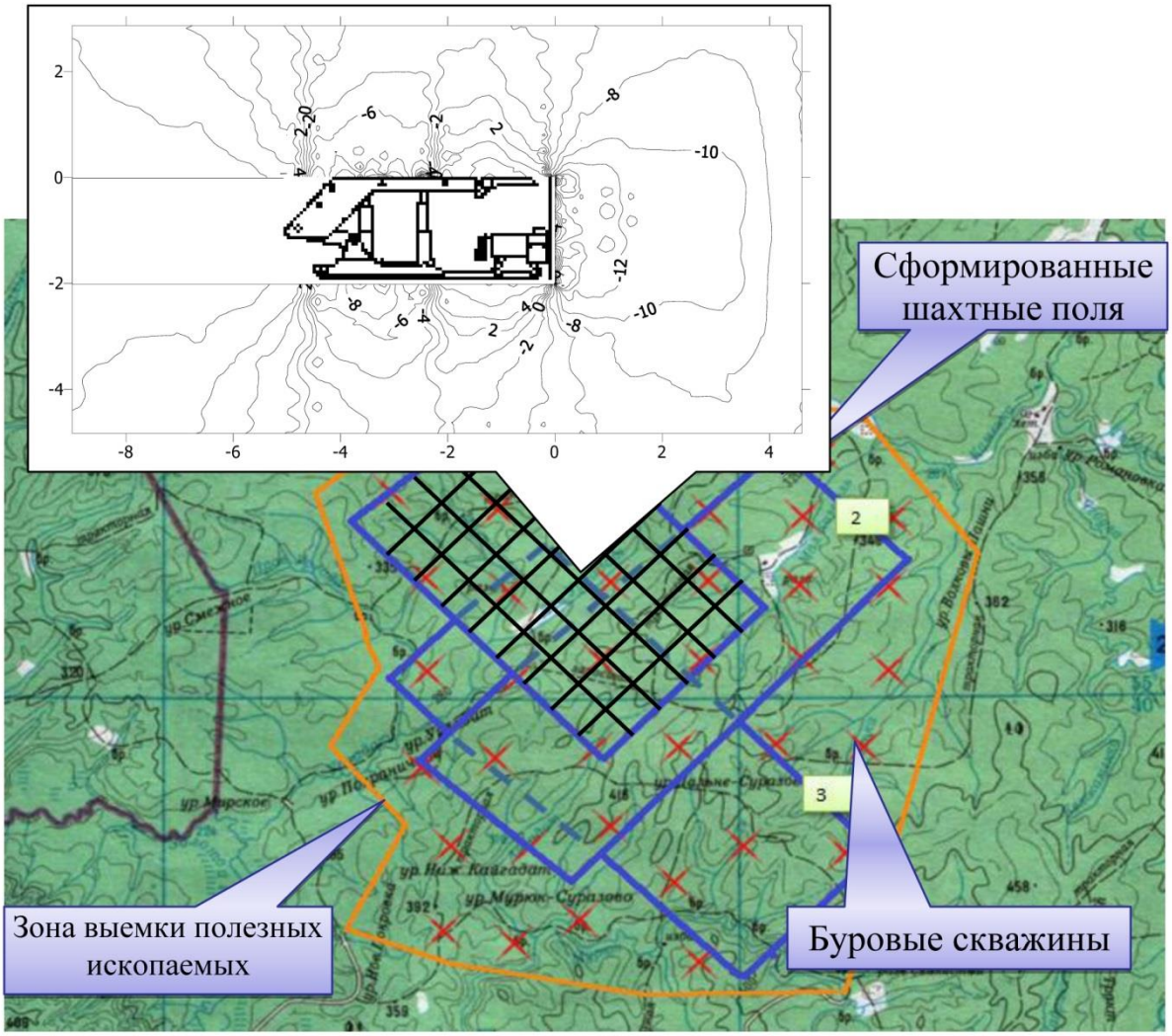


Рис. 1 – Окно программы визуалиации результатов

Полученные результаты можно разместить на электронной карте ведения выемочных работ и осуществить их координатную привязку. Это позволит рассматривать влияние процесса добычи угля в системе взаимодействия объектов с геопространственными характеристиками. На основании полученных данных, можно будет осуществлять прогноз опасных участков при выемке полезных ископаемых, оценить целесообразность ведения горных работ, разработать комплекс мероприятий по предотвращению аварийных ситуаций и т.п.

В рамках данной работы географическая информационная система рассматривается как программная система, позволяющая осуществлять поиск, анализ, редактирование, хранение и визуализацию пространственных данных, основой интеграции которых является географическая информация. Таким образом, в поле зрения пользователей тематических карт практически не попадают картометрические характеристики. В процессе создания тематических карт используются топологические модели объектов предметной области. В частности, по результатам моделирования параметров напряженно-деформированного состояния углепородного массива при ведении очистных работ на различных выемочных участках может быть построена региональная геоинформационная система мониторинга состояния углепородных массивов для информационной поддержки горнодобывающего предприятия.

Список литературы

1. Модель идентификации геомеханического взаимодействия механизированных крепей с углепородным массивом / Степанов Ю.А., Горный информационно-аналитический бюллетень. Mining informational and analytical bulletin: М. – Изд-во «Горная книга», №7, 2011. 422 С

2. Моделирование процессов выемки угля в очистных забоях /Степанов Ю.А., сборник статей XII международной научно-практической конференции «Фундаментальные и прикладные исследования, разработка и применение высоких технологий в промышленности», Т.2: Санкт-Петербург, Россия/ под ред. А.П.Кудинова. – СПБ.: Изд-во Политехн. Ун-та, 2011. 438 с.

05.17.01

Н.А. Степовая, Л.В. Пешкова

Невинномысский технологический институт (филиал) Северо-Кавказского федерального университета, кафедра химической технологии, машин и аппаратов химических производств, Невинномысск, stepnat_06@mail.ru

ОПТИМИЗИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА АБСОРБЦИИ НИТРОЗНОГО ГАЗА РАСТВОРАМИ АЗОТНОЙ КИСЛОТЫ

В статье представлены результаты изучения работы абсорбционной колонны производства неконцентрированной азотной кислоты. Составлена математическая модель процесса поглощения оксидов азота. Проведены расчеты, позволяющие определить условия орошения для снижения концентрации NO_X в отходящих газах абсорбционной колонны.

Ключевые слова: *азотная кислота, оксиды азота, абсорбция, окисление.*

В производстве азотной кислоты опасными отходами, содержащими оксиды азота, являются «хвостовые» газы. Основная часть оксидов азота, получаемых при окислении аммиака, перерабатывается в азотную кислоту на стадии абсорбции. Остаточное их количество восстанавливается при очистке «хвостовых» газов до уровня ПДВ. Следовательно, увеличение степени абсорбции нитрозного газа позволит снизить количество оксидов поступающих на очистку «хвостового» газа, и соответственно, при сохранении прежнего уровня очистки, уменьшить количество выбросов оксидов азота в атмосферу.

Процесс абсорбции нитрозного газа в производстве неконцентрированной азотной кислоты состоит из большого числа элементарных физико-химических процессов [2]. Помимо большого количества химических реакций, в том числе окисления оксида азота (II) и взаимодействия оксидов азота (III) и (IV) с водой на этой стадии производства происходит массообмен между двумя фазами: жидкой и газообразной (рисунок 1). Необходимо учитывать влияние всех факторов, таких как растворимость газов в жидкой фазе, и возможность десорбции оксида азота (II) из раствора в газовую фазу.

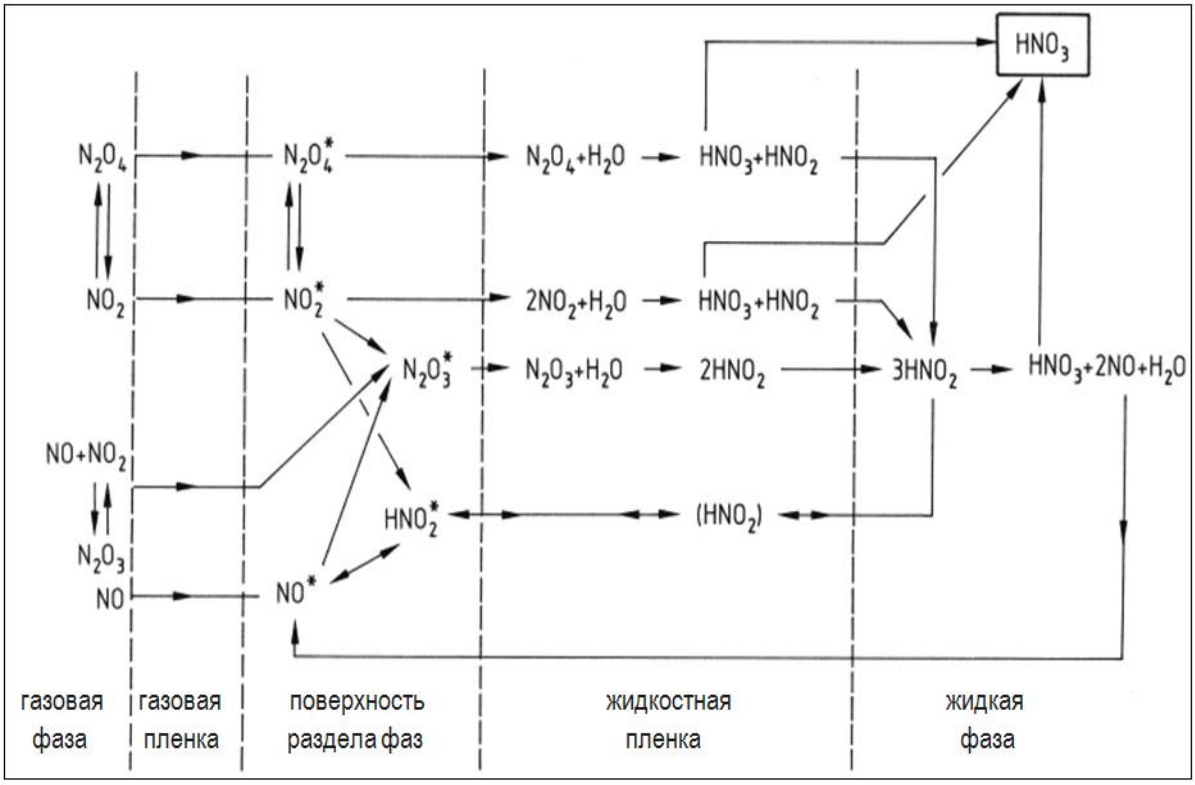


Рис. 1 – Нестехиометрическая модель поглощения оксидов азота в воде

При реализации этой стадии в промышленности были учтены сведения о лимитирующей стадии процесса. Из литературных данных известны две существующие точки зрения на этот вопрос. С одной стороны процесс зависит от стадии окисления NO в NO_2, с другой – диспропорционирования HNO_3 и десорбции образующегося NO.

На равновесие реакции окисления NO благотворно влияет повышение давления и снижение температуры. Однако, на десорбцию вторичного NO эти факторы оказывают противоположное воздействие [1]. Эти противоречия не позволяют вести процесс однозначно.

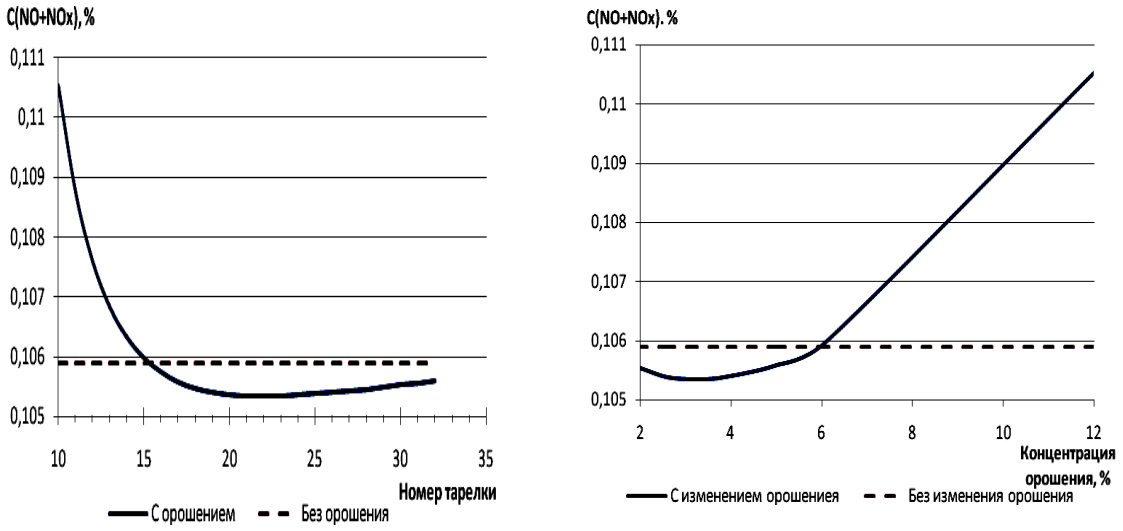
Также, из растворимости оксидов азота известно, что для увеличения степени их поглощения следует увеличивать концентрацию азотной кислоты. Проведенные экспериментальные исследования, подтверждают предположение о целесообразности изменения режима орошения абсорбционной колонны.

Для моделирования работы абсорбционной колонны необходимо было детально и структурно разобраться в протекающих процессах. Такая возможность представляется при изучении элементарных физико-химических процессов, наглядно описываемых операторными схемами. Была составлена операторная схема произвольной тарелки колонны. С целью оптимизации процесса абсорбции предложено применить орошение колонны растворами неконцентрированной азотной кислоты. Для проверки целесообразности принятого решения и нахождения оптимальных условий в разработанную модель необходимо было внести дополнения. С этой целью составлена операторная схема тарелки, с которой будет производиться отбор жидкости для изменения орошения колонны. Узел абсорбции был разделен на две части: холодильники-конденсаторы и собственно абсорбционная колонна.

Основной задачей при составлении математической модели узла абсорбции была организация возможности изменения режима орошения колонны, так чтобы варьировать нагрузку колонны по жидкой фазе для удовлетворения обоим мнениям о лимитирующей стадии процесса.

Внесение изменений в операторную схему позволило смоделировать процесс абсорбции оксидов азота растворами неконцентрированной азотной кислоты, приближенно к режиму промышленной установки. Отбор кислоты на орошение абсорбционной колонны возможен с любой ее тарелки.

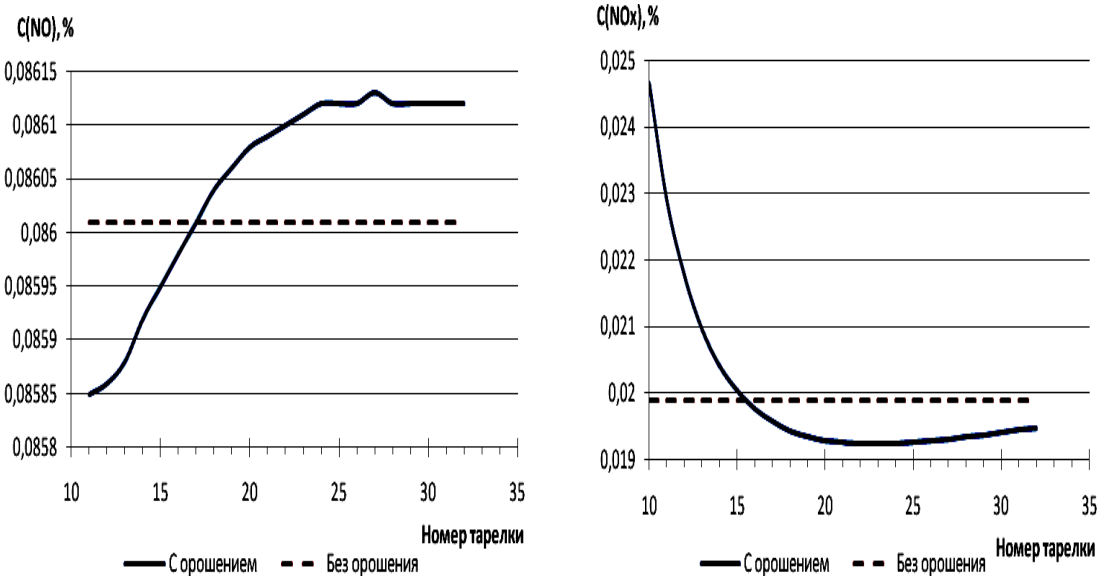
Проводилось изучение концентрации оксидов азота в выходящих из абсорбционной колонны газах в зависимости от орошения, взятого, с соответствующей тарелки, с увеличением номера которой концентрация раствора кислоты подаваемого на орошение колонны уменьшалась. Полученная зависимость представлена на рисунке 2(а). Как известно растворимость оксидов азота в растворах азотной кислоты увеличивается с увеличением концентрации кислоты, а поглощение оксидов водой идет медленно. Влияние концентрации орошающего раствора азотной кислоты на концентрацию «хвостовых» газов показано на рисунке 2(б).



а б

Рис. 2 – Зависимость концентрации NOx в выхлопных газах колонны от номера тарелки, с которой отбиралось орошение (а) и концентрации орошающего раствора кислоты (б)

Детальное рассмотрение влияния орошения, в зависимости от номера отбираемой тарелки на концентрации оксидов азота (II) и (IV) на выходе из колонны приведено на рисунке 3.



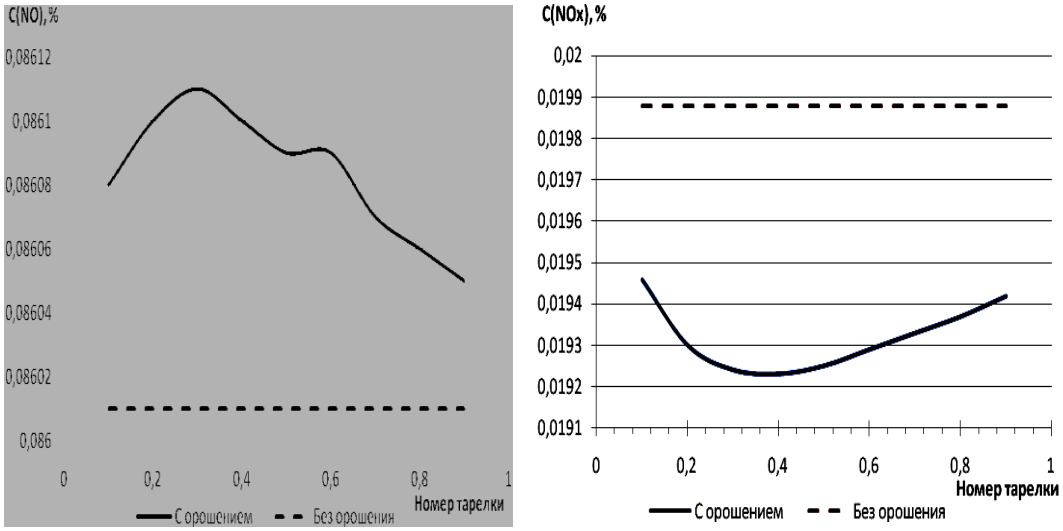
а б

Рис. 3 – Зависимость концентрации NO (а) и NO_2 (б) в выхлопных газах колонны от номера отбираемой тарелки

Характер изменения эффективности абсорбции, как сложного и неоднозначного физико-химического процесса, при изменении концентрации орошения проходит через минимум. Минимальная концентрация оксидов азота достигается при отборе кислоты с 19-22 тарелки (орошение 3-4% HNO_3) на 47 тарелку.

Другим важным параметром является доля отбираемой кислоты или кратность орошения, которая влияет не только на концентрацию, но и на количество жидкой фазы подаваемой наверх колонны, при одновременном снижении нагрузки по жидкой фазе внизу абсорбционной колонны. Изучение влияния доли отбираемой кислоты на концентрацию оксидов в выходящих из колонны газах, проводилось при отборе кислоты со всех тарелок. Лучшие результаты были получены при отборе кислоты с 19-22 тарелки, результаты влияния кратности отбираемой кислоты на концентрацию оксидов азота (II) и (IV) представлены на рисунке 4. Как видно кратность орошения противоположно влияет на реакции окисления и

хемосорбции оксидов. Повышенное значение концентрации оксида азота (II) свидетельствует о повышении степени абсорбции оксида азота (IV).



а б

Рис. 4 Зависимость концентрации NO (а) и NO_2 (б) в выхлопных газах колонны от кратности орошения

По результатам проведенных исследований на разработанной модели узла абсорбции нитрозных газов можно сделать следующие выводы:

- орошение колонны азотной кислотой концентрацией до 6% вместо водяного конденсата приводит к снижению содержания оксидов азота в выхлопных газах колонны;

- при орошении колонны растворами азотной кислоты содержание NO увеличивается и проходит через максимум, а содержание NO_X уменьшается и проходит через минимум. Суммарная же концентрация оксидов азота на выходе из колонны снижается. Можно сделать предположение об увеличении степени абсорбции и связанным с этим большим выделением NO по реакциям, протекающим в жидкой фазе. Влияние измененного режима орошения на реакцию окисления NO (I) незначительно, для повышения эффективности процесса абсорбции наряду с изменением режима орошения возможно целесообразным будет улучшение окисления оксида азота (II) с учетом увеличения степени оксиленности нитрозного газа, подаваемого в абсорбционную колонну.

Список литературы

1. Кинетика абсорбционных процессов / Под ред. В.И. Атрощенко. Харьков: Вища школа, 1976. – 164 с.

2. Производство азотной кислоты в агрегатах большой единичной мощности / Под ред. В.М. Олевского. – М. : Химия, 1985. – 400 с.

05.13.06

К.А. Сурниченко, А.В. Жданов к.т.н.

ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»,
Владимир, tms@vlsu.ru

ПОДХОД К ИМИТАЦИОННОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ ИНТЕГРИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПРЕДПРИЯТИЯ

В работе представлен подход к моделированию интегрированной информационной системы предприятия. Представлена структура системы, описаны основные ее элементы. Приведены результаты моделирования в системе MathLab.

Ключевые слова: *база данных, интегрированная информационная система, имитационное моделирование, потоки данных.*

Интегрированная информационная система (ИИС) предприятия как правило представляет собой набор интегрированных приложений, которые комплексно, в едином информационном пространстве поддерживают все основные аспекты управленческой деятельности - планирование ресурсов для производства товаров (услуг), оперативное управление выполнением планов, все виды учета, ведение хозяйственной деятельности [1]. В работе [5] предложена логическая структура ИИС предприятия, оснащенного АСУ ТП и ряд аналитических математических моделей, описывающих процесс функционирования предприятия с непрерывным технологическим циклом (НТЦ). Цель моделирования состоит в воспроизведении поведения исследуемой технологической системы (ТС) на основе результатов анализа наиболее существенных взаимосвязей между её элементами и разработке симулятора исследуемого объекта. Особенностью данной работы является применимость к предприятиям с НТЦ производства. Так, например, [2] рассматривает систему для позаказного производства. А [3] не рассматривает службу обеспечения эксплуатации на предприятии. Описание и расчет модели ИИС при различных исходных данных производится на языке для технических расчетов *MatLab*. Опишем основные подсистемы, входящие в состав ИИС:

SQL Server дает возможность управлять критически важной информацией. Предполагаемая логическая схема базы данных (БД) представлена на рис. 1. БД создается, исходя из логической схемы ИИС. На рис. 1 представлено взаимодействие данных, необходимых для принятия решения в случае возникновения внештатной ситуации или при планировании ремонтно-предупредительных работ. Эти данные учитывают: стоимость ремонта или замены узла, трудоемкость изготовления, затраты на конструкторскую подготовку.

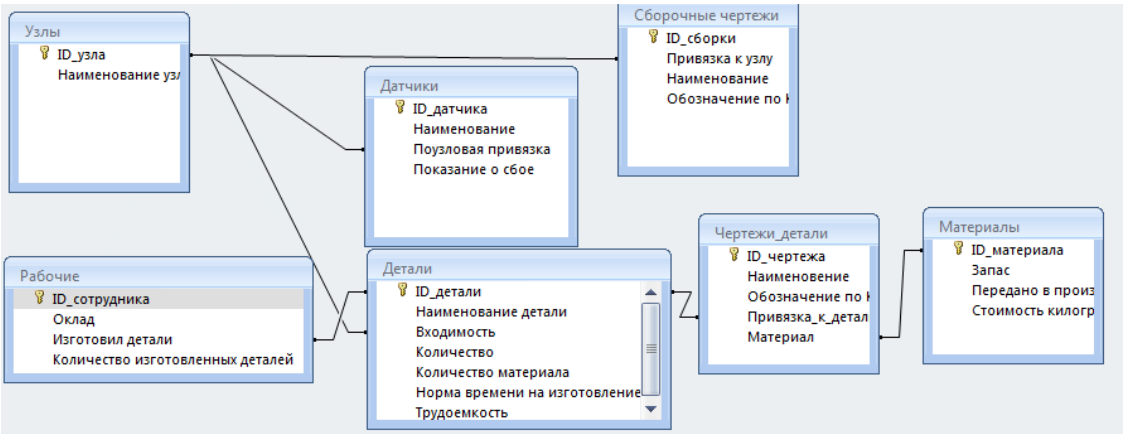


Рис. 1– Логическая структура базы данных SQL-сервера

Одна из главных функций *PDM* — непосредственное взаимодействие между пользователями. Поскольку все данные, относящиеся к объекту, включая чертежи, диаграммы, списки и приложения, хранятся в электронном виде, то при проектировании и эксплуатации любой документ всегда находится под рукой. С помощью *PDM*-системы можно управлять всем процессом разработки и эксплуатации объекта. Успешность внедрения *PDM*-системы зависит от особенностей документооборота на предприятии. Схему документооборота представим в виде *DFD*-модели. (Рис. 2)

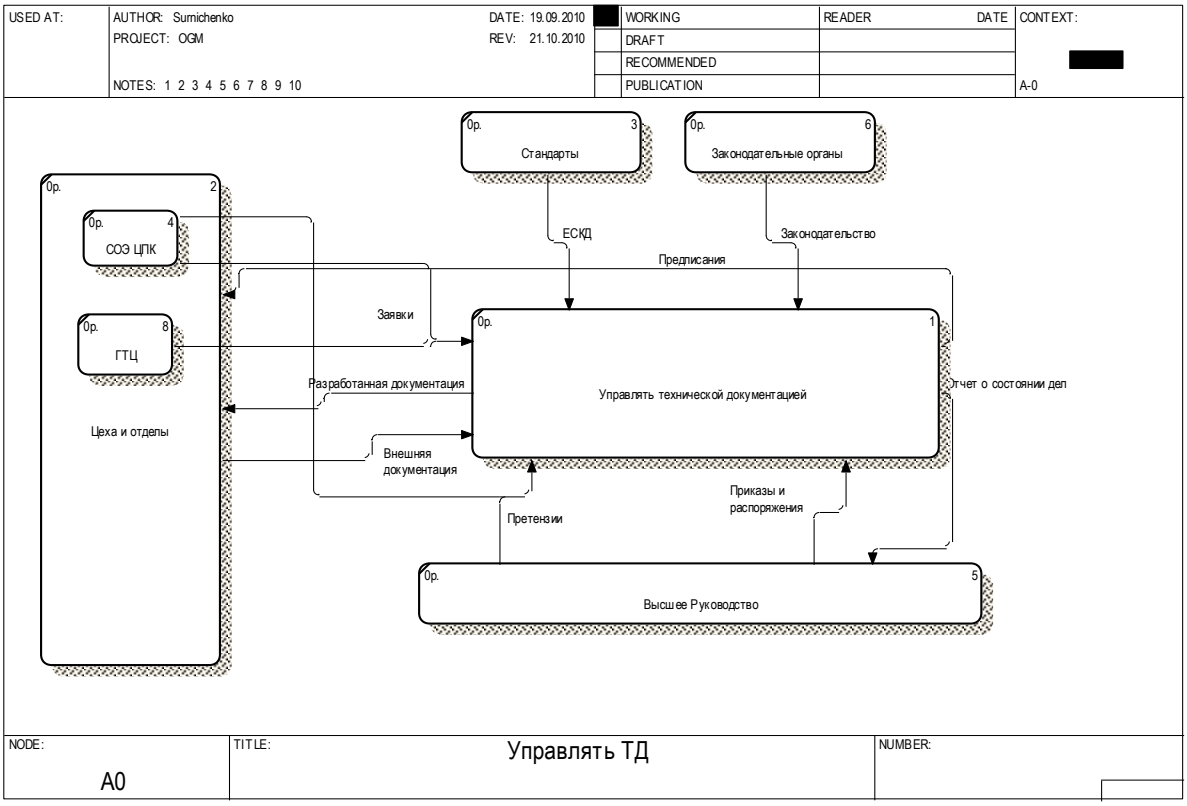


Рис. 2– DFD-модель документооборота

Основа документооборота, касающаяся PDM-системы – движение технической документации (ТД). Из рис. 3 видно, что кроме разработчиков ТД в процессе участвуют цеха и отделы, а также высшее руководство. Высшее руководство управляет деятельностью на уровне претензий и приказов. Цеха направляют разработчикам документации заявки, а также внешнюю документацию (чертежи на нестандартное оборудование, технические задания, акты, технические решения и т.д.) Разработчики передают документацию потребителю и отчитываются перед руководством. Знание принципов документооборота предприятия сокращает трудоемкость при внедрении *PDM*-системы и ИИС в целом.

На верхнем уровне управления ИИС используется ЭВМ, входящая в состав автоматизированного рабочего места (АРМ) оператора. ЭВМ выполняет функции индикации и регистрации параметров процесса, а также ручного управления исполнительными механизмами технологического оборудования. Для решения этих задач используются инструментальные *SCADA*-системы для сбора данных и оперативного диспетчерского управления. *1С Предприятие* служит для комплексной автоматизации всевозможных видов учета, финансово-экономического анализа на предприятии любой сферы деятельности и любой организационной структуры. На данном этапе моделирования ИИС *SQL*-сервер был заменен файлом данных *MS Excel*. Данный файл эмулирует потоки отказов и восстановлений на участках рассматриваемой ТС. Интенсивности потока отказов и потока восстановлений вычислялись с использованием статистических данных о простоях и восстановлениях за период 2002…2012 г.г. Пакет *MatLab* использовался для численного решения ряда моделей, описывающих функционирование ТС: 1) модель динамики изменения надежности ТС в

процессе эксплуатации; 2) модель оптимального обслуживания; 3) модель оценки количества запасных элементов; 4) модель оценки эффективности затрат на восстановление и ремонт. Динамика изменения надежности ТС в процессе эксплуатации представлена на рис.3.

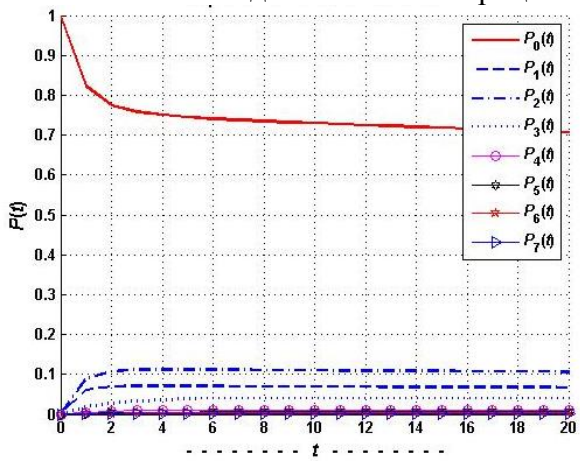


Рис. 3– Динамика изменения надежности ТС. На рисунке обозначено $P_0(t)$-состояние, при котором исправны все три элемента, $P_1(t)$ –неисправен 1-ый элемент, $P_2(t)$ – неисправен 2-ой элемент, $P_3(t)$ – неисправен 3-ий элемент, $P_4(t)$ – неисправны 1-ый и 2-ой элементы, $P_5(t)$ – неисправны 2-ой и 3-ий элементы, $P_6(t)$ – неисправны 1-ый и 3-ий элементы, $P_7(t)$– неисправны все три элемента

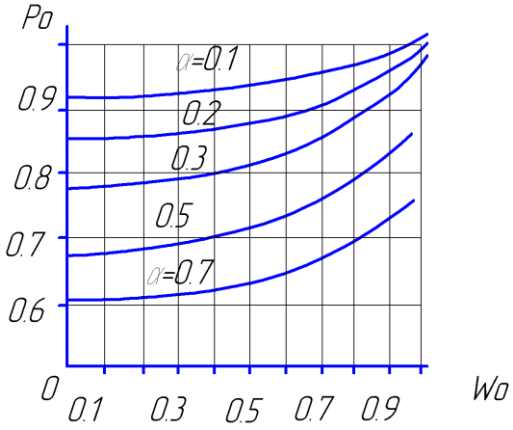


Рис. 4– Результат решения модели оценки количества запасных элементов

Результатом численных решений модели оптимального обслуживания являются графики планово-предупредительного ремонта и обслуживания оборудования, определение численности ремонтного персонала. Модель оценки количества запасных элементов необходима для нахождения количества деталей, с помощью которых можно поддерживать требуемый уровень надежности. Нелинейность задачи обусловлена тем, что в целевой функции присутствует вероятность безотказной работы (собственно она и максимизируется) [4, 5]. Практическим результатом решения является управляемый складской перечень быстроизнашивающихся запасных частей и комплектующих, содержащий 2500 позиций. Результатом решения модели (рис. 4) являются значения вероятности выполнения задания ТС W_0, обобщенного показателя надежности p_0 и значение относительной стоимости эксплуатации C при заданной надежности p_0. Полученные показатели будут являться базовыми. Их можно использовать при расчете модернизируемой ТС как систему-аналог. Величина α зависит от способа повышения надежности ТС. Наименее экономичным способом является способ дублирования всех элементов, отказ которых приводит к отказу системы ($\overline{C} \approx 2$).

При проектировании и моделировании ИИС использовалась спиральная модель жизненного цикла, что позволяет разрабатывать систему поэтапно, добавляя в нее новые элементы. Таким образом, на данном этапе моделирования приоритетной задачей была проверка взаимодействий *SCADA*-системы и внешнего решателя. Поэтому 1С (экомическая ИС) и Лоцман на данном этапе находятся вне контура ИИС. Однако их введение предусмотрено в последующих версиях.

В результате работы получен симулятор двухучастковой ТС с промежуточным накопителем, имитирующим поведение данной системы во времени в течение заданного периода и стало возможно предсказывать поведение сложных ТС с НТЦ. Уточнен уровень затрат, необходимый для поддержания требуемой производительности, оптимизированы перечень и количество быстоизнашивающихся запасных деталей. В результате

моделирования показано, что выходные данные отвечают требованиям адекватности и соотвествуют реальным данным, поэтому данную модель ИИС можно использовать и внедрять на практике.

Список литературы

1. *Кальницкая И.В.* Учетно-аналитическая концепция интегрированной информационной системы для целей управления организацией: теория и методология: Автореф. дис...д-ра эконом. наук. – Екатеринбург, 2011. – 41 с.
2. *Кульга К.С.* Модели и методы создания интегрированной информационной системы для автоматизации технической подготовки и управления машиностроительным производством: Автореф. дис...д-ра техн. наук. – Уфа, 2009. – 32 с.
3. *Серебряков А.А.* Повышение эффективности технологической подготовки производства путем создания системы поддержки принятия решений на машиностроительном предприятии»
4. *Сурниченко А.А.* Исследование и повышение надежности автоматизированной системы производства кирпича на этапе эксплуатации: Автореф. дис...канд. техн. каук. – Владимир, 2011. – 17 с.
5. *Сурниченко К.А., Калашникова А.М., Жданов А.В.* Моделирование интегрированной информационной системы для управления кирпичноделательным комплексом СМК-350 // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 6; URL: http://www.science-education.ru/106-7782

05.02.13

В.Н. Сызранцев д.т.н., В.Н. Ильиных, К.В. Сызранцева к.т.н.

Тюменский государственный нефтегазовый университет (ФГБОУ ВПО ТюмГНГУ),
г. Тюмень, v_syzrantsev@mail.ru

МЕТОДИКА ОБРАБОТКИ ДАННЫХ МАЛОЦИКЛОВЫХ УСТАЛОСТНЫХ ИСПЫТАНИЙ ГИБКИХ ТРУБ

В статье представлены результаты испытаний образцов изготовленных из гибких труб. Приведены данные разрушения образцов из новой гибкой трубы при ее циклическом деформировании в области малоцикловой усталости.

Ключевые слова: *Гибкая труба, циклическое изменение нагрузки, предел прочности, предел текучести, циклическое деформирование, малоцикловая усталость.*

Для описания результатов усталостных испытаний в настоящее время широко используются линейные регрессионные зависимости [1], учитывающие, в рамках статистических моделей, рассеивание механических и усталостных свойств материала, но не имеющие какого-либо физического наполнения. Обеспечение требуемой долговечности и надежности циклически нагружаемых изделий с заданной вероятностью неразрушения связано с необходимостью использования более сложных моделей, отражающих процесс накопления усталостных повреждений в изделиях. Именно такие модели разработаны в кинетической теории механической усталости [2]. Наиболее важным практическим значением этой теории является возможность построения кривых усталости, соответствующих различной величине поврежденности материала (D): от $D = D_0 \geq 0$, характеризующей начальное повреждение материала детали, которое имеет место еще до начала ее циклического деформирования, вплоть до предельной величины $D = D_k \leq 1$, соответствующей разрушению детали (образца) вследствие накопленных усталостных повреждений.

В работе [2] для описания кривой многоцикловой усталости получено выражение:

$$N = \frac{Q}{\sigma} \ln\left\{1 + \left[\exp\left(\frac{\sigma - \sigma_r}{\sigma_r - \sigma_{rT}}\right) - 1\right]^{-1}\right\}, \quad (1)$$

где: N - число циклов нагружения; σ - максимальное напряжение цикла; Q – коэффициент выносливости; σ_r – предел выносливости детали при коэффициенте асимметрии цикла r; σ_{rT} – циклический предел текучести (ниже его уровня следы пластической деформации даже после нескольких миллионов циклов нагружения отсутствуют).

Определение значений параметров σ_r, σ_{rT} и Q зависимости (1) на основе имеющейся совокупности данных разрушения образцов $\sigma_i, N_i, i = \overline{1,n}$ выполняется путем минимизации функции

$$\Phi(Q, \sigma_r, \sigma_{rT}) \xrightarrow[Q,\sigma_r,\sigma_{rT}]{} \min \quad , \quad (2)$$

построенной в соответствии с методом наименьших квадратов.

Математическое описание кривой усталости в малоцикловой области ($N \leq 10^5$) представлено в работе [2] выражением:

$$\sigma = \sigma_B + \vartheta \cdot \lg\left(\frac{N}{H} + 1\right), \quad (3)$$

где σ_B - предел прочности материала; ϑ - угол наклона кривой усталости в системе координат $\lg N - \sigma$; H - число циклов деформирования до верхней точки перегиба кривой малоцикловой усталости, рассчитываемый по зависимости (1) для $\sigma = \sigma_B$:

$$H = \frac{Q}{\sigma_B} \ln\left\{1 + \left[\exp\left(\frac{\sigma_B - \sigma_r}{\sigma_r - \sigma_{rT}}\right) - 1\right]^{-1}\right\}. \quad (4)$$

В работе [1] для коэффициента Q получена следующая формула:

$$Q = -Q_T \ln\left[1 - \exp\left(-\frac{D_0}{1 - D_0} \cdot \frac{\sigma}{\sigma_r - \sigma_{rT}} \cdot \frac{\sigma_B}{\sigma_B - \sigma_r}\right)\right], \quad (5)$$

где Q_T - коэффициент, характеризующий сопротивление детали росту усталостных трещин.

Величины D_0 и Q_T могут быть определены на основе: зафиксированных длин усталостных трещин, измерении поврежденных площадей испытуемых деталей, расчета моментов инерции поврежденных сечений деталей [2]. Однако в реальных условиях испытаний получение такой информации часто весьма затруднено, а во многих случаях невозможно. Тем не менее, знание начального D_0 и предельного значения параметра D_k позволяет при заданной величине действующего напряжения σ и числа циклов нагружения N оценить достигнутый уровень текущей поврежденности материала D и, в конечном итоге, реализовать процедуру расчета остаточной долговечности детали (образца).

Для кривой многоцикловой усталости (1) задача определения величин D_0 и Q_T на основе данных усталостных испытаний образцов $\sigma_i, N_i, i = \overline{1,n}$ впервые решена в работе [3]. В настоящей работе подобная задача решается для кривой малоцикловой усталости (3).

Воспользуемся зависимостью (5), которую преобразуем следующим образом:

$$\exp(-Q / Q_T) + \exp\left[-\frac{D_0}{1 - D_0} \cdot \frac{\sigma}{(\sigma_r - \sigma_{rT})} \cdot \frac{\sigma_B}{(\sigma_B - \sigma_r)}\right] = 1. \quad (6)$$

После решения задачи (2), значения параметров σ_r, σ_{rT} и Q на основе имеющейся совокупности данных усталостных испытаний $\sigma_i, N_i, i = \overline{1,n}$ определены: σ_r^*, σ_{rT}^* и Q^*. В этом случае выражение (6) получает вид:

$$\exp(-Q^* / Q_T) + \exp\left[-\frac{D_0}{1 - D_0} \cdot \frac{\sigma}{(\sigma_r^* - \sigma_{rT}^*)} \cdot \frac{\sigma_B}{(\sigma_B - \sigma_r^*)}\right] = 1. \quad (7)$$

Зададимся средним значением предела прочности $\sigma_B = \overline{\sigma_B}$. Тогда в уравнении (7) неизвестными являются только два параметра: D_0 и Q_T. Для их определения воспользуемся следующим приемом. Поскольку величина D_0 характеризует поврежденность материала в исходном состоянии, ее значение от величины действующего напряжения (σ) при деформировании образца не зависит. То есть D_0 является постоянной для всего диапазона изменения напряжений σ. Если, в дополнении к отмеченному, предположить, что и коэффициент Q_T, в диапазоне изменения напряжений $\sigma_r^* \le \sigma \le \overline{\sigma_B}$ также является величиной постоянной, то для расчета D_0 и Q_T войдем в уравнение (7) дважды: при напряжении $\sigma = \overline{\sigma_B}$ и $\sigma = \sigma_r^*$. Решая полученную систему двух трансцендентных уравнений, определим искомые значения D_0^* и Q_T^*.

Принимая во внимание, что текущая поврежденность материала, следуя работе [2], описывается выражением (5) при замене D_0 на D, получим уточненную зависимость для кривой малоцикловой усталости:

$$N = \left(1 - 10^{\frac{\sigma - \overline{\sigma_B}}{\vartheta}}\right) \cdot Q_T^* \cdot B_0 \cdot \ln\left[1 - \exp\left(-\frac{D \cdot \overline{\sigma_B}}{(1-D)(\sigma_r^* - \sigma_{rT}^*)(\overline{\sigma_B} - \sigma_r^*)} \cdot \sigma\right)\right], \qquad (8)$$

где $B_0 = \dfrac{\ln\left\{1 + \left[\exp\left(\dfrac{\overline{\sigma_B} - \sigma_r^*}{\sigma_r^* - \sigma_{rT}^*}\right) - 1\right]^{-1}\right\}}{\overline{\sigma_B}}$.

Изложенная методика использована при обработке данных малоцикловых испытаний образцов из трубной стали HS80. Для этой стали получено: $\overline{\sigma_B}$=602,1МПа; $\vartheta = -121{,}811$; $Q_T^* = 1{,}53 \cdot 10^6$; σ_r^*=263,621 МПа; σ_{rT}^*=201,914 МПа. На рис.1 в координатах $\lg N - \sigma$ представлены экспериментальные точки и ряд кривых усталости с величиной поврежденности: $D = D_0^* = 6{,}006 \cdot 10^{-11}$(толстая линия); $10^{-7}; 10^{-5}; 10^{-4}; 10^{-3}$.

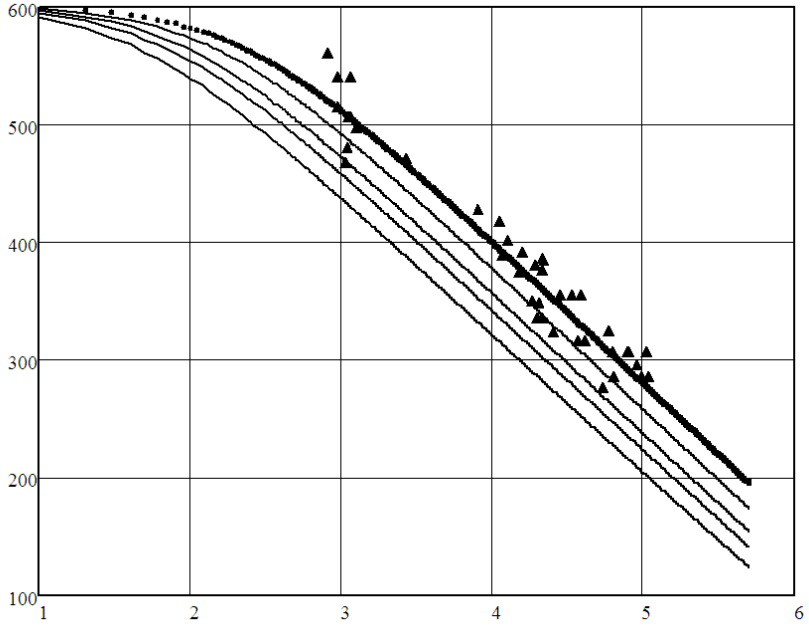


Рис.1- Кривые малоцикловой усталости с различной величиной поврежденности материала (сталь HS80)

Нетрудно видеть, что при $D = D_0$ и $\sigma_B = \overline{\sigma_B}$ выражение (8) описывает кривую усталости, соответствующую 50% вероятности разрушения образцов. Однако при использовании кривой усталости в практике расчета долговечности деталей более важной характеристикой, принимая во внимание естественный разброс экспериментальных значений $N_i, i = \overline{1,n}$, является нижняя граница доверительного интервала этой кривой, соответствующая, например, вероятности разрушения 1% или 5%. В этой связи рассмотрим алгоритм расчета границ доверительных интервалов для кривой усталости в виде (8).

Из анализа зависимости (3) следует, что она содержит два параметра, природа которых случайная, - это предел прочности (σ_B) и число циклов до верхней точки перегиба кривой малоцикловой усталости (H), которое относительно σ_B описывается нелинейной зависимостью (4).

На момент решения рассматриваемой задачи параметры $\sigma_r = \sigma_r^*$, $\sigma_{rT} = \sigma_{rT}^*$, $Q = Q^*$, $\vartheta = \vartheta^*$, $Q_T = Q_T^*$, $D = D_0^*$ известны. Воспользуемся данными разрушения образцов на разрывной машине, на основе которых определим статистические характеристики σ_B: среднее значение $\overline{\sigma_B}$ и границы его доверительного интервала, например, для вероятности 90% $\sigma_{B\min}^{0,90}$ и $\sigma_{B\max}^{0,90}$.

Подставляя в выражение (4) $\sigma_B = \overline{\sigma_B}$, рассчитаем математическое ожидание $\overline{H}$ числа циклов H:

$$\overline{H} = \frac{Q^*}{\overline{\sigma_B}} \ln\left\{1 + \left[\exp\left(\frac{\overline{\sigma_B} - \sigma_r^*}{\sigma_r^* - \sigma_{rT}^*}\right) - 1\right]^{-1}\right\}, \tag{9}$$

и установим для H границы доверительного интервала:

нижняя граница $$H_{\min}^{0,90} = \frac{Q^*}{\sigma_{\min}^{0,9}} \ln\left\{1 + \left[\exp\left(\frac{\sigma_{\min}^{0,9} - \sigma_r^*}{\sigma_r^* - \sigma_{rT}^*}\right) - 1\right]^{-1}\right\}; \tag{10}$$

верхняя граница $$H_{\max}^{0,90} = \frac{Q^*}{\sigma_{\max}^{0,9}} \ln\left\{1 + \left[\exp\left(\frac{\sigma_{\max}^{0,9} - \sigma_r^*}{\sigma_r^* - \sigma_{rT}^*}\right) - 1\right]^{-1}\right\}. \tag{11}$$

Найденные значения $\overline{H}$, $H_{\min}^{0,90}$ и $H_{\max}^{0,90}$, а также $\overline{\sigma_B}$, $\sigma_{B\min}^{0,90}$ и $\sigma_{B\max}^{0,90}$ позволяют на основе уравнения (3) для конкретных данных описать кривую малоцикловой усталости

$$\sigma = \overline{\sigma_B} + \vartheta \cdot \lg\left(\frac{N}{\overline{H}} + 1\right) \tag{12}$$

и границы ее доверительного интервала при вероятности 0,90:

$$\sigma_{\min}^{0,90} = \sigma_{B\min}^{0,90} + \vartheta \cdot \lg\left(\frac{N}{H_{\max}^{0,90}} + 1\right), \quad \sigma_{\max}^{0,90} = \sigma_{B\max}^{0,90} + \vartheta \cdot \lg\left(\frac{N}{H_{\min}^{0,90}} + 1\right). \tag{13}$$

Границы при другой вероятности рассчитываются аналогично.

Результаты реализации рассмотренной методики представлены на рис.2, на котором для стали HS80 в координатах $\sigma - \lg N$ показана кривая малоцикловой усталости (штриховая линия) и рассчитанные для нее границы 90%, 95% и 99% доверительных интервалов.

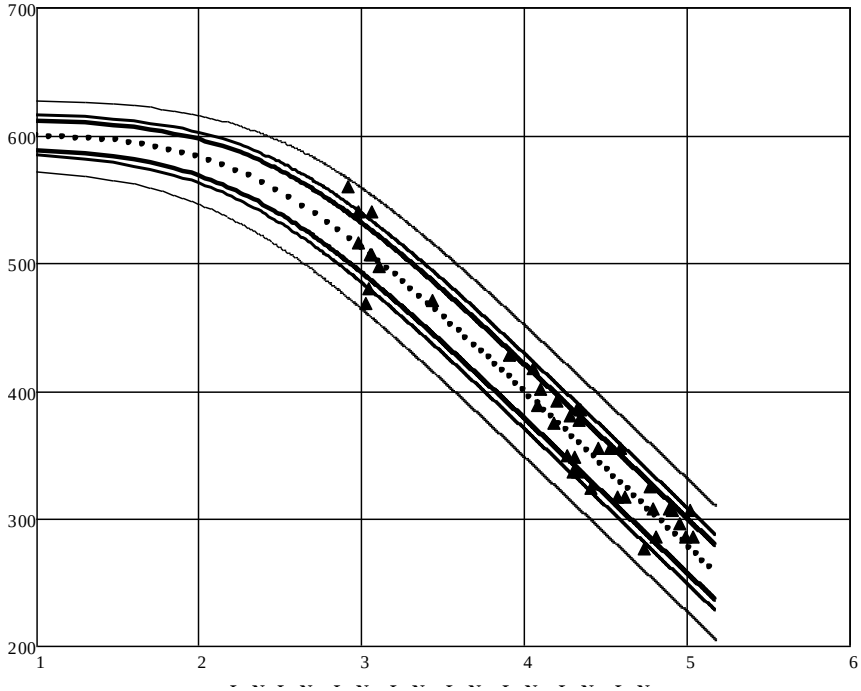


Рис. 2 – Границы доверительных интервалов кривой малоцикловой усталости для стали HS80

Список литературы

1. *Степнов М.Н.* Статистические методы обработки результатов механических испытаний: Справочник. – М.: Машиностроение, -1985. –232 с.

2. *Почтенный Е.К.* Кинетическая теория механической усталости и ее приложения. – Минск: Наука и техника, 1973. – 213 с.

3. *Сызранцев В.Н., Сызранцева К.В., Голофаст С.Л., Иванова Ю.С.* Развитие кинетической теории усталости. Безопасность критических инфраструктур и территорий: Сборник трудов I и II Всероссийских конференций и XI и XII школ молодых ученых 2007-2008 гг.. Екатеринбург: УрО РАН, 2009 – С.230-233.

05.13.11

А.А. Талалаев к.т.н., И.П. Тищенко к.т.н., В.П. Фраленко к.т.н., В.М. Хачумов д.т.н.

Федеральное государственное учреждение науки Институт программных систем
им. А.К. Айламазяна Российской академии наук,
Исследовательский центр мультипроцессорных систем,
Переславль-Залесский, vmh48@mail.ru

КОНЦЕПЦИЯ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ВИЗУАЛИЗАЦИИ И ОБРАБОТКИ МЕДИЦИНСКИХ И ПРОМЫШЛЕННЫХ СНИМКОВ[1]

В статье предложена концепция создания перспективного интегрированного комплекса обработки и визуализации данных медицинского и промышленного назначения. Концепция учитывает современные направления развития медицинских и промышленных технологий в области обработки и визуализации изображений. Для ускорения вычислений предполагается использование кластерных вычислителей, оборудованных графическими ускорителями.

Ключевые слова: *концепция, комплекс, обработка и визуализация данных, медицина, промышленность, графический ускоритель.*

Введение

Программно-инструментальные комплексы (ПИК) обработки и визуализации изображений медицины и промышленности предназначены в том числе для решения следующих задач: автоматизированного контроля с целью поиска новообразований, дефектов и поддержки принятия решений. Такие комплексы обычно узко специализированы и обеспечивают работу либо с рентгеновскими, либо ультразвуковыми снимками. Универсальный (интегрированный) комплекс – более предпочтительный вариант, имеющий в основе набор унифицированных функций, среди которых в первую очередь следует отметить следующие: получение изображения из различных источников, хранение и предобработка данных.

Применение промышленной компьютерной томографии наиболее перспективно при неразрушающей диагностике ответственных деталей и сборок со сложной внутренней структурой. Использование данных систем дает возможность контролировать дефекты по отдельным рентгеновским снимкам объекта, строить трехмерные модели, получать любые его сечения и проекции для дальнейшего анализа.

УЗИ и рентген в медицине более популярны ввиду дороговизны и малого количества томографического оборудования. Медицинские изображения, получаемые при рентгеновской и ультразвуковой диагностике, различны по виду заложенной в них информации, определяемой, прежде всего, способом взаимодействия используемого вида излучения с органами и тканями. Сканирование поверхности тела человека зачастую происходит пучком рентгеновских лучей или ультразвуковых эхо-сигналов. Полученные данные далее используются для получения изображения на устройстве визуализации с целью обнаружения скрытых объектов: опухолей, трещин в костях и т.д.

Имеющиеся комплексы обычно не обладают высокой производительностью, требующейся для обработки больших объемов анализируемых данных, что приводит к необходимости применения ускорителей вычислений. Применение графических процессоров (GPU) для решения задач обработки медицинских и промышленных снимков является перспективным направлением, способным значительно сократить временные затраты на обработку данных [1,2]. В ряде случаев для успешного решения задач целесообразно

[1] Работа поддержана Министерством образования и науки Российской Федерации (Государственный контракт № 14.514.11.4056 по теме «Разработка программно-инструментального комплекса высокопроизводительной обработки изображений медицинского и промышленного назначения»)

использование кластерных вычислительных систем, которые легко масштабируются и обладают значительными вычислительными мощностями при достаточно низкой себестоимости. Процессоры общего назначения (CPU) и графические процессоры дополняют друг друга. CPU показывает лучшую производительность при работе с последовательными задачами, но при большом объеме обрабатываемой информации, с которой можно работать параллельно, очевидное преимущество имеет GPU [3].

1. Концепция интегрированного комплекса

Предлагаемая далее концепция программно-инструментального комплекса учитывает современные направления развития медицинских и промышленных технологий в области обработки и визуализации изображений, в том числе принципы

1) унификации и интеллектуализации медицинских и промышленных интерфейсов,
2) стандартизации форматов представления данных (в виде стандартов DICOM и DICONDE) и создание библиотек методов их обработки,
3) универсализации драйверов различных приборов и устройств,
4) стандартизации способов передачи данных в синхронном и асинхронном режимах,
5) интеллектуализации автоматизированной и автоматической обработки слабоструктурированных данных,
6) визуализации, в том числе когнитивной, многомерной и разнородной информации,
7) поддержки принятия решений пользователя ПИК,
8) модульности и наращиваемости программного обеспечения,
9) параллельной обработки на многопроцессорных вычислительных системах (МВС) и графических процессорах.

Схема поступления и обработки медицинских и промышленных снимков представлена на рис. 1 и 2.

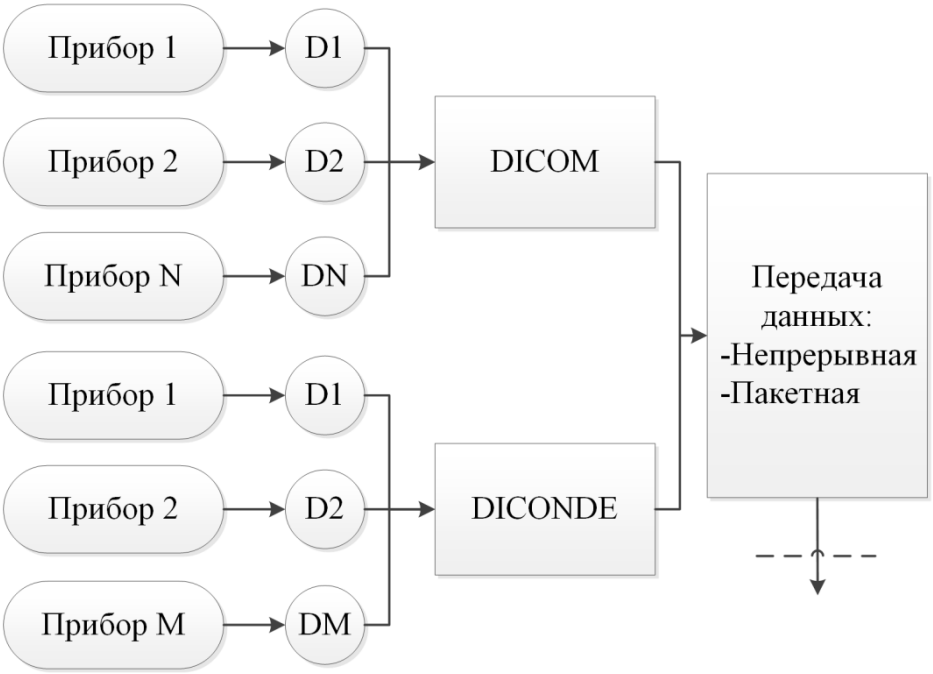


Рис. 1 – Схема передающей части интегрированного комплекса, где D1, D2 и т.д. – драйверы устройств

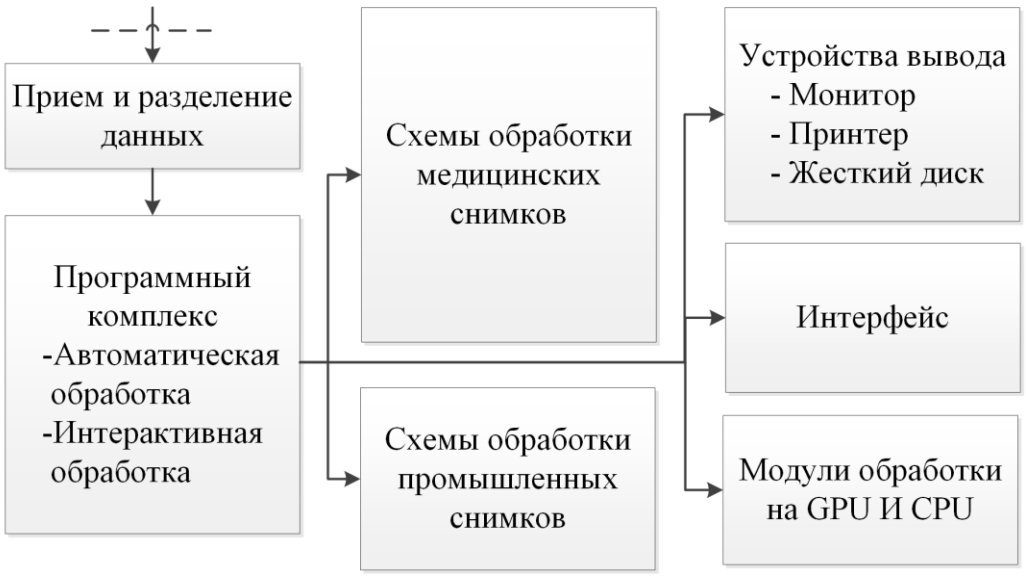


Рис. 2 – Схема приемной части интегрированного комплекса

Предполагается обработка, как одиночных снимков, так и их потоков, как сохраненных заранее, так и полученных в режиме реального времени с некоторого оборудования. Реализация комплекса требует работы последовательности программных модулей:

1. Модуль задания входных данных − производит задание источника данных.
2. Модуль чтения − производит чтение: одиночного снимка; потокового снимка.
3. Модули обработки − производят обработку поступающих снимков.
4. Модули хранения − обеспечивают сохранение результата с целью последующей обработки или сравнения и передачу данных на визуализацию.
5. Модули визуализации − принимают данные и отображают информацию на экране, в том числе рекомендации пользователю.

Для промышленной части схемы предусматривается обработка как отдельного снимка, так и непрерывного потока снимков. Порядок действий не отличается от медицинских снимков, за исключением необходимости специальной регламентированной реакции на найденные повреждения и особенности.

Функциональная схема и архитектура разрабатываемого комплекса приведены на рис. 3 и 4 соответственно. Функционально комплекс разбит на две основные части, включающие 1) вычислительное ядро, модули чтения, модули обработки, модули сохранения и передачи информации; 2) графический интерфейс, модули задания входных данных, модули визуализации.

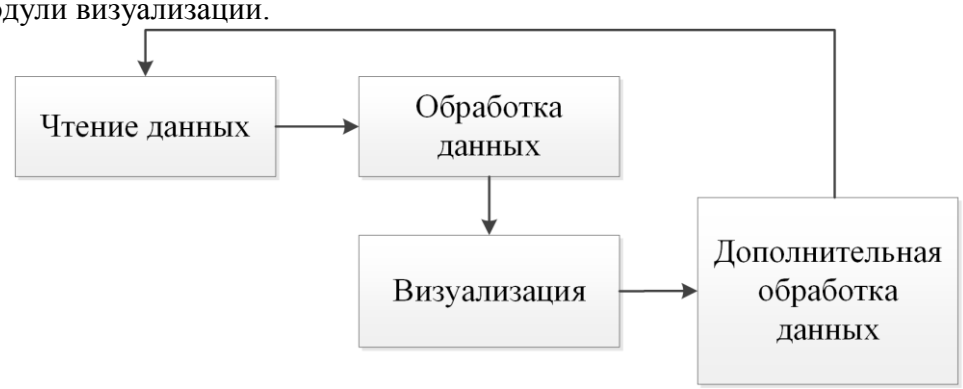


Рис. 3 − Схема функционирования ПИК

Архитектура комплекса наследует полученные ранее структуры и результаты построения прикладных систем различного назначения [4-7].

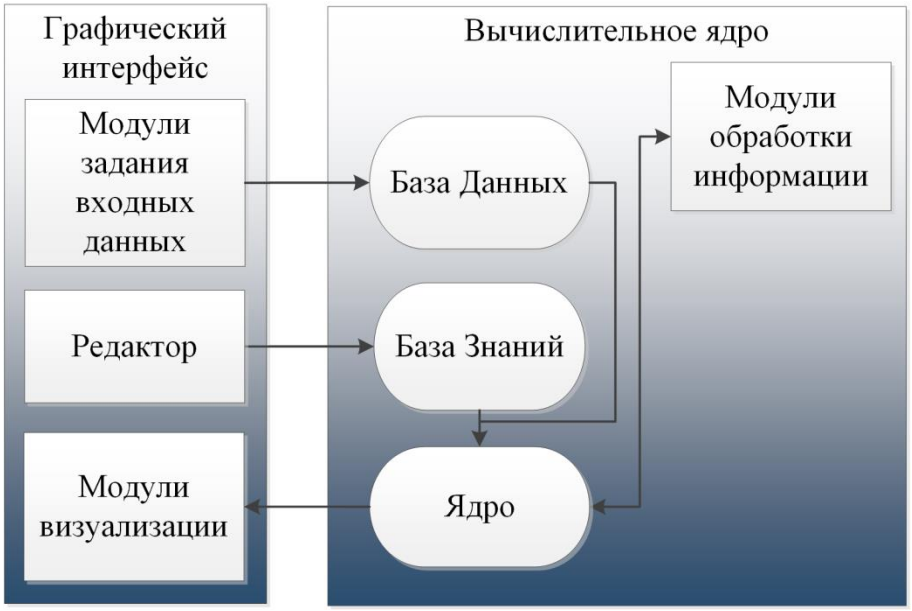


Рис. 4 − Архитектура ПИК

2. Ожидаемые результаты

Ожидается, что результатом работы станет высокопроизводительный комплекс визуализации и обработки медицинских и промышленных данных для задач диагностики. Можно перечислить особенности и возможности разрабатываемого ПИК: кроссплатформенность; унификация алгоритмов обработки; масштабируемость времени вычислений на кластерных вычислительных устройствах и графических процессорах; поддержка расширения функциональных возможностей за счет подключения новых программных модулей; поддержка создания визуальных схем решения задач; визуализация полученных результатов; обеспечение гибкости управления за счет использования модулей и каналов передачи данных.

Опыт проектирования высокопроизводительных систем обработки данных [4-7] дает основание утверждать, что наиболее удобным способом организации подобного комплекса является модульный, в котором основные алгоритмические единицы реализуются в виде подгружаемых библиотек и могут содержать как последовательную, так и параллельную реализацию алгоритма. В первом случае параллелизм обеспечивает вычислительное ядро, во втором – прикладной программист, реализующий модуль. Процесс запуска параллельных модулей контролируется вычислительным ядром, что позволяет комплексу функционировать в условиях ограниченных аппаратных ресурсов.

Широкий круг решаемых задач определяет необходимость использования двух уровней параллелизма. Помимо параллельной требуется и конвейерная обработка данных. Информация от одного модуля передается следующему в цепочке по мере готовности данных. После заполнения все звенья конвейера работают параллельно [8].

Для уменьшения ошибок оператора логичным выглядит использование двухуровневого контроля действий: графический интерфейс на этапе формирования схемы решения прикладной задачи информирует пользователя об ошибках в ее описании; вычислительное ядро в процессе анализа и решения задачи взаимодействует с графическим интерфейсом. Тот, в свою очередь, анализирует получаемые сообщения и уведомляет пользователя о критических событиях.

Предлагаемое решение должно быть способно функционировать как на КВУ под управлением ОС Linux, так и на многопроцессорных персональных компьютерах под управлением ОС Windows, обеспечивая вышеперечисленные особенности на каждой из них. Высокоуровневая часть разрабатываемого ядра отвечает непосредственно за механизмы параллельно-конвейерной обработки (т.е. за сбалансированную загрузку многопроцессорной вычислительной системы и графических ускорителей), ее реализация – общая для обеих

поддерживаемых платформ; низкоуровневая часть ядра будет иметь лишь общие интерфейсы для обеих систем, но различные реализации для каждой из них.

Высокие требования к построению ПИК требуют концентрации в комплексе как стандартных алгоритмов, так и новых научно-технических решений, что позволяет определить необходимые технические характеристики разрабатываемого комплекса следующим образом:

1) разрешение обрабатываемого изображения до 20 мегапикселей;
2) скорость обработки до 30 кадров в секунду;
3) максимальная разрядность обрабатываемого изображения не менее 14 бит;
4) возможность вывода изображения на экран и принтер;
5) работа с изображениями медицинских рентгеновских и ультразвуковых снимков в формате DICOM, JPEG, TIFF, BMP, PNG;
6) наличие интерфейса оператора;
7) возможность управления внешними устройствами по стандартным протоколам передачи данных TCP и UDP;
8) возможность нанесения маркеров (знаки, текст) на изображения, вычисления расстояния между произвольными точками на изображении, а также вычисления площадей произвольных областей на изображении;
9) работоспособность на персональных компьютерах, оснащенных графическими ускорителями с поддержкой технологий OpenCL и CUDA, и на кластерных высокопроизводительных вычислительных устройствах с количеством вычислительных узлов не менее двух (на каждом – не менее двух процессоров общего назначения с не менее чем 4 вычислительными ядрами у каждого).

Заключение

В статье предложена концепция создания перспективного интегрированного комплекса обработки и визуализации данных медицинского и промышленного назначения. Комплекс необходим для решения задач непрерывного конвейерного контроля; обработки сигналов и изображений в рамках медицинских учреждений и промышленных предприятий; обеспечения задач хранения, конвейерно-параллельной обработки и визуализации данных, поступающих в потоковом режиме. Комплекс будет оснащен набором базовых инструментов для высокопроизводительной обработки изображений с целью ускорения работы и поддержки решения специалистов в области рентгеновского и ультразвукового контроля. Для ускорения вычислений предполагается использование кластерных вычислителей, оборудованных графическими ускорителями.

Результаты исследований должны обеспечить увеличение скорости обработки изображений медицинского и промышленного назначения за счет использования как персональных компьютеров, так и кластерных вычислительных установок, оснащенных набором графических процессорных устройств. Ожидается повышение удобства работы конечного потребителя за счет визуального контроля над обработкой изображений медицинского и промышленного назначения посредством графического программного интерфейса.

Список литературы

1. *Luebke D., Humphreys G.* How GPUs Work. – Computer, February 2007, 126-130. URL: http://www.cs.virginia.edu/~gfx/papers/pdfs/59_HowThingsWork.pdf (дата обращения: 31.03.2013).
2. Wikipedia – Graphics processing unit. URL: http://en.wikipedia.org/wiki/Graphics_processing_unit (дата обращения: 31.03.2013).
3. *Хачумов В.М.* Проект создания программной системы для распознавания графических образов на основе нейронных сетей. − Нейрокомпьютеры: разработка, применение, №9, 2008, с.52-54.
4. *Джораев А.Р.* Гибридные вычислительные системы на основе GPU для задач биоинформатики. – Компьютерные исследования и моделирование, 2010 Т. 2, № 2, с. 163-167. URL: http://crm.ics.org.ru/uploads/crmissues/crm2010-2-2/crm10205.pdf (дата обращения: 31.03.2013).
5. *Константинов К.А., Талалаев А.А., Тищенко И.П., Хачумов В.М.* Концепция архитектуры нейросетевой системы контроля, диагностики и обработки изображений космического назначения. − Авиакосмическое приборостроение, № 5, 2009, с.39-47.
6. *Талалаев А.А.* Организация конвейерно-параллельных вычислений для обработки потоков данных. – Информационные технологии и вычислительные системы, №1, 2011, с.8-13.
7. *Хачумов В.М., Талалаев А.А.* Технические характеристики кластерных вычислителей и анализ эффективности параллельных программных средств обработки потоков данных. – Авиакосмическое приборостроение, 2011, №12, с.3-17.
8. *Хачумов В.М.* Модели конвейерного медицинского технологического процесса. – Искусственный интеллект и принятие решений, №3, 2009, с.25-32.

05.12.13

А.П. Тейхриб

ООО "Смартьюб",
Екатеринбург, ateyhrib@naumen.ru

ОБЗОР ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА ПЕРЕДАЧИ ПОТОКОВЫХ АУДИОДАННЫХ

В статье рассматриваются основные аспекты качества передачи потоковых аудиоданных. Приводится описание качественных оценок передачи аудиоданных в VoIP — MOS и R-Factor. Также рассматриваются причины, оказывающие влияние на ухудшение данных характеристик.

Ключевые слова: *передача потоковых данных, MOS, R-factor, задержка, джиттер, потери пакетов.*

Одним из важнейших параметров передачи потоковых данных является качество передачи. Несмотря на то, что качество передачи данных во многом является субъективном параметром, существуют различные аспекты его оценки, которые рассматриваются в рамках данной статьи применительно к передаче потоковых аудиоданных.

Передача аудиоданных оценивается с помощью качественных оценок, среди которых наиболее широко используются MOS (Mean Opinion Score) — усредненная оценка разборчивости речи и R-Factor [6]. Оценка MOS дает представление о качестве передаваемой медиа-информации после сжатия с помощью кодеков и передачи по каналам связи и выражается числовым значением от 1 до 5: 1 — низкое качество и 5 — самое лучшее. MOS достаточно субъективная оценка, так как основана на восприятии качества голоса людьми. Оценочная шкала R-Factor позволяет давать более точную оценку качества звука, шкала имеет числовые значения от 0 до 100. R-Factor рассчитывается с учетом субъективных ощущений пользователя и объективных факторов, которые влияют на общее качество VoIP-системы. Сетевой и пользовательский R-Factor рассчитываются отдельно. Уровни удовлетворенности пользователей по оценкам MOS и R-Factor приведены в Таблице 1.

Таблица 1 — Уровни удовлетворенности пользователей

Уровень удовлетворенности пользователей	**MOS**	**R-Factor**
Очень довольны	4.3-5.0	90-100
Довольны	4.0-4.3	80-90
Некоторые пользователи довольны	3.6-4.0	70-80
Многие пользователи недовольны	3.1-3.6	60-70
Практически все пользователи недовольны	2.6-3.1	50-60
Работа не рекомендуется	1.0-2.6	Менее 50

Среди параметров, определяющих качество передачи аудиоданных, выделяются следующие [2] [3]: задержка при передаче данных, джиттер (Jitter), потеря пакетов и эхо. Далее подробно рассмотрим каждый из перечисленных параметров.

Задержка при передаче — это суммарная задержка сигнала при его передаче, применительно к аудиоданным означает отставание воспроизводимых данных от их генерации. Джиттером называется неравномерность периодов времени, отведенных на доставку пакета аудиоданных [4]. Задержка при передаче и джиттер взаимосвязаны, так как при субъективной оценке качества передаваемого сигнала данные характеристики накладываются друг на друга. Ниже перечислены факторы, вызывающие задержу передачи данных, из которых складывается общая задержка [3]:

- Кодирование данных — выполнение передачи потоковых данных может сопровождаться преобразованием данных из одного формата в другой, при этом каждая кодирующая система вносит некоторую задержку. В частности, системы сжатия речи могут привести к задержке в 70 мс.
- Генерирование пакетов — при передаче потоковых данных непосредственная передача осуществляется пакетами, которые формируются системой на основе некоторого количества передаваемой информации, что также обуславливает задержку. Для нивелирования задержки, возникающей при генерации пакетов, выбирается определенная размерная рамка пакета, например, для речевого компонента пакетов она составляет 20—40 мс. При этом необходимо учитывать, что размер заголовка пакета фиксирован, и сокращение размера пакета приводит к повышению доли служебной информации в общем объеме передаваемых данных.
- Последовательная передача данных — для передачи пакета в последовательном (т.е. побитовом) канале передачи требуется некоторое количество времени, величина задержки зависит от размера пакета и скорости передачи канала.
- Распространение данных — это время, затрачиваемое на передачу сигнала с помощью физических средств связи, продолжительность задержки варьируется в зависимости от расстояния, на которое осуществляется передача.
- Задержка при коммутации и маршрутизации — потеря времени на прохождение сигнала через коммутаторы и маршрутизаторы оказывает наибольшее влияние на задержку в речевых IP-системах. Величина задержки определяется потерями времени при коммутации и задержкой на буферизацию. Задержка при коммутации, обычно, величина постоянная, она складывается из временных затрат коммутатора или маршрутизатора на обработку приходящего пакета, например, на чтение адреса, определение оптимального пути. Продолжительность задержки приходящих пакетов в буфере в ожидании очереди на обслуживание определяется объемом трафика, с которым работает буфер каждого маршрутизатора при поступлении пакетов.
- Устранение джиттера — в случае использования протокола RTP, при получении пакета происходит восстановление временной последовательности путем использования буфера, в котором накапливаются пакеты. Наличие такого буфера создает дополнительную задержку.

Допустимой при передаче аудиоданных считается задержка от 150 мс [2], 200 мс [8], 300 мс [5]. Такой разброс величин объясняется наличием различных уровней субъективного восприятия качества передаваемых данных. Наибольшей убедительностью обладает значение 200 мс, т.к. оно получено из экспериментов, которые позволили оценить уровень качества услуги в зависимости от значений характеристик функционирования сетей последующих поколений. На рисунке 1 указаны первое (ПГЗ) и второе (ВГЗ) граничные значения, определенные на основе рекомендации МСЭ-Т G.109 [1].

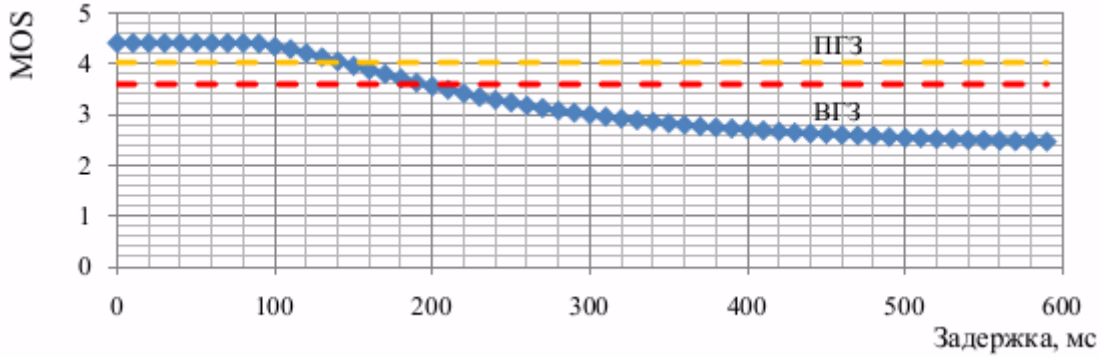


Рис. 1 — ПГЗ и ВГЗ, определенные на основе рекомендации МСЭ-Т G.109

На рисунке 1 для получения значения MOS использовались значения качества обслуживания, отложенные по оси Y. Показатели выше ПГЗ соответствуют уровню, при котором большинство пользователей удовлетворено качеством передачи речи, а ниже ВГЗ – не удовлетворено.

Приблизительное время задержки, порождаемое кодированием в различные популярные форматы передачи потоковых данных для некоторой конфигурации оборудования, представлено в Таблице 2.

Таблица 2 — Приблизительное время задержки для различных методов кодирования

Метод кодирования	**Приблизительное время задержки на кодирование, мс**
G.711. Импульсно-кодовая модуляция (ИКМ)	0,13
G726. Адаптивная дифференциальная импульсно-кодовая модуляция (АДИКМ)	0,4
G.729a	25
G.723.1	67
G.722. Широкополосный стандарт (50 Гц...7 кГц)	0,4

Потери в сигнале, вызванные ошибками в сетях передачи потоковых данных, сопровождаются потерей пакетов. Потери пакетов могут вызывать проблемы при декодировании передаваемых данных, что приводит к снижению удовлетворенности пользователей от использования сервиса. Протокол RTP позволяет измерять количество потерянных пакетов путем отслеживания номеров пакетов. Допустимые значения потери пакетов зависят от способа кодирования, для некоторых широко распространенных форматов информация о допустимых потерях представлена в Таблице 3.

Таблица 3 — Допустимые потери для различных методов кодирования

Метод кодирования	**Допустимые потери, %**
G.711. Импульсно-кодовая модуляция (ИКМ)	7...10
G726. Адаптивная дифференциальная импульсно-кодовая модуляция (АДИКМ)	5
G.729a	< 2
G.723.1	< 1
G.722. Широкополосный стандарт (50 Гц...7 кГц)	5

На субъективное восприятие качества передачи аудиоданных оказывает влияние эффект эха, часто возникающий при осуществлении коммуникаций. Появление эха является следствием использования гибридных ретрансляторов 2/4 провода. Наличие эха зависит от скорости возвращения, т.к. в случае достаточно быстрого возвращения (до 70 мс суммарно) эхо не воспринимается как самостоятельный звук, а смешивается с сигналом собственного микрофона. В случае превышения допустимого времени возвращения необходимо осуществлять борьбу с эхом с помощью следующих механизмов [7]:

- Компенсация эхо — на основе наличия/отсутствия сигнала (голоса) в сети выполняет включение или отключение передачи голоса. Данный механизм не позволяет в должной степени комфортности выполнять подавление эха, т.к. в моменты переключения происходит некоторая потеря передаваемого сигнала.
- Эхоподавление — механизм основан на вычитании из принимаемого сигнала только той части передаваемого сигнала, которая не приводит к искажению входящего сигнала.

- Устранение узлов, порождающих эхо — данный механизм не всегда возможен для реализации, так как связан с изменением телекоммуникационного оборудования, участвующего в передаче потоковых данных.

Из вышеуказанных механизмов наиболее перспективно использование эхоподавления, т.к. полное устранение узлов, порождающих эхо, не может быть выполнено в силу организационных причин, а компенсация эха приводит к неудовлетворенности пользователей.

В статье были рассмотрены основные параметры, влияющие на качество передачи потоковых аудиоданных: задержка передачи, джиттер, потери пакетов и эффект эха. Приведен обзор причин, оказывающих влияние на ухудшение данных характеристик, выявлены наиболее значимые факторы. Приведенные в статье сведения рекомендуется учитывать при разработке программного обеспечения для приема и передачи потоковых данных.

Список литературы

1. Definition of categories of speech transmission quality / SERIES G: TRANSMISSION SYSTEMS AND MEDIA, DIGITAL SYSTEMS AND NETWORKS International telephone connections and circuits – General definitions. [Электронный ресурс]: TELECOMMUNICATION STANDARDIZATION SECTOR OF ITU – Режим доступа: http://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=e&id=T-REC-G.109-199909-I!!PDF-E&type=items
2. *Michael F. Finneran.* Вопросы качественной передачи голоса по IP-сетям: сжатие, задержка и эхо. Часть 1 [Электронный ресурс] — Режим доступа: http://www.russianelectronics.ru/leader-r/review/8627/doc/45651/
3. *Michael F. Finneran.* Вопросы качественной передачи голоса по IP-сетям: сжатие, задержка и эхо. Часть 2 [Электронный ресурс] — Режим доступа: http://www.russianelectronics.ru/leader-r/review/8627/doc/40356/
4. Джиттер [Электронный ресурс] — 17/01/2010 — Режим доступа: http://www.asterisk-pbx.ru/wiki/doku.php/jitter
5. *Мошак. Н. Н* Основы проектирования сетей ATM [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://dvo.sut.ru/libr/ius/120mosh/index.htm
6. Оценка качества голоса, MOS и R-Factor [Электронный ресурс] — Режим доступа: http://icepartners.ru/stat-i/ocenka-kachestva-golosa-mos-i-r-factor.html
7. Причины возникновения сигнала эха [Электронный ресурс] – Декабрь, 2008 – Режим доступа: http://voip.rus.net/tiki-index.php?page=Causes+of+Echo
8. *Шалагинов. В. А.* Исследование влияния характеристик функционирования сетей последующих поколений на качество услуг на базе открытых интерфейсов [Электронный ресурс] – 2011 – Режим доступа: http://www.dissercat.com/content/issledovanie-vliyaniya-kharakteristik-funktsionirovaniya-setei-posleduyushchikh-pokolenii-na

Работа поддерживается Министерством образования и науки Российской Федерации, ГК 14.514.11.4012.

05.13.18

В.С. Фанасков

Новокузнецкий институт (филиал)
ФГБОУ ВПО Кемеровского государственного университета,
г. Новокузнецк, vsnkfi@gmail.com

РАЗРАБОТКА ПРЕДМЕТНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО ЯЗЫКА ПРОГРАММИРОВАНИЯ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ТЕМАТИЧЕСКИХ ЭЛЕКТРОННЫХ КАРТ

В статье описываются основные этапы разработки предметно-ориентированного языка программирования предназначенного для создания разноплановых электронных карт. Рассмотрен пример формального определения синтаксиса, построения грамматик и лексического анализа с учётом специфики обработки пространственных данных, характерной для специализированого программного обеспечения на базе технологий ГИС.

Ключевые слова: *разработка языков программирования, предметно-ориентированные языки программирования, ГИС, создание электронных карт*.

В специализированных ГИС, вместо типовых электронных карт, могут использоваться тематические электронные карты, акцентирующие внимание пользователя и разработчика на закономерностях пространственного распределения атрибутивных признаков[3]. Такая направленность картографирования приводит к созданию различных картосхем, картограмм и псевдо-карт. Таким образом, в поле зрения пользователей тематических карт практически не попадают картометрические характеристики. Следовательно, в процессе создания тематических карт используются геоинформационные модели объектов предметной области. Это могут быть модели взаимодействия слоёв полезных ископаемых, модели, описывающие имитационное моделирование процессов добычи нефти и газа, модели, описывающие источники загрязнений и так далее.

Процесс создания тематических карт сопряжён с привлечением специалистов в смежных областях. Учитывая специфику моделей, применяемых в тематических картах, специалистам необходимо работать над логикой взаимодействия пользователя с интерактивной картой и производить оценку результатов адекватности работы. Следовательно, для специалистов в предметной области актуально использование программных средств, облегчающих реализацию логики работы тематической карты. Одним из таких средств является технология программирования, направленная на создание новых высокоуровневых языков (LOP) для реализации узкого спектра задач.

Результатом использования технологии LOP является создание предметно-ориентированного языка программирования (DSL). Согласно [2], DSL представляет собой язык программирования, предназначенный для решения задач выбранной предметной области, использующий особые принципы представления или решения задач. В процессе разработки DSL для тематического картографирования формируется словарь предметной области и более четко выделяется абстракция. На практике такой подход способствует разработке в терминах предметной области, благодаря чему специалисты не знакомые с классическими языками программирования могут создавать и модифицировать DSL программы. Следовательно, логика предметной области, в данном случае выражается в сопутствующей терминологии, средствами близкими к естественному языку, что минимизирует возможность ошибки перевода требований и способствует корректной работе приложения. Стоит отметить, что программы, написанные с использованием DSL лаконичны, и могут использоваться в качестве коротких скриптов, оптимизирующих выполнение рутинных операций.

В рамках данной работы был разработан язык программирования создания тематических электронных карт, позволяющий учитывающего специфику структуры и взаимодействия объектов. На интерпретатор для данного языка и сопутствующее программное обеспечение получено свидетельство о регистрации программы для ЭВМ №2012617895. В языке реализованы типовые операции над геометрическими характеристиками объектов электронных карт. Рассмотрим основные этапы создания данного языка.

Разработка предметно-ориентированного языка начинается с создания модели данных. В данном случае, описание предметной области включает в себя понятие карты и объекта. Карта может состоять из нескольких карт меньшего размера. Объект обязательно должен принадлежать какой-либо карте (рис. 1).

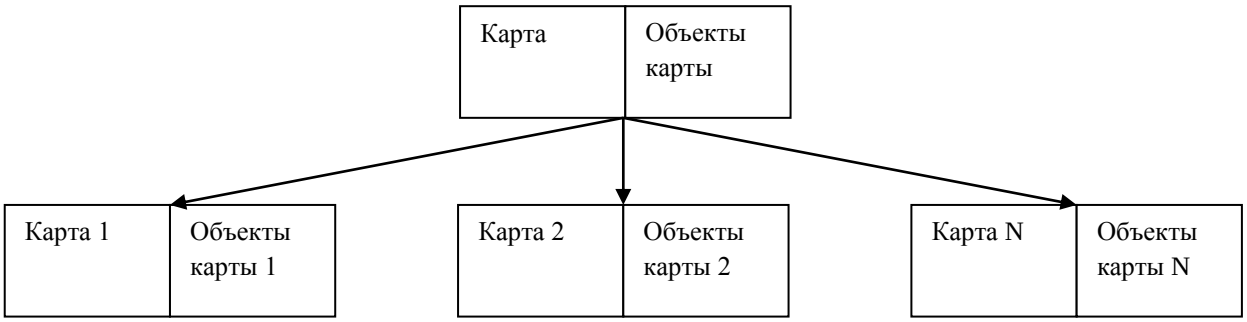


Рис. 1 – Типовая структура электронной тематической карты

Некоторые объекты электронных карт могут иметь сложную по числу связей и количеству элементов внутреннюю структуру. Структурные компоненты могут состоять из других элементов. Таким образом, целесообразно реализовать операции над множествами объектов, характерные для выбранной предметной области. В данном случае необходимо реализовать типовые операции объединения (в том числе и без повторений), пересечения, добавления и удаления.

Следующим этапом разработки является реализация модели данных. При этом для каждого понятия предметной области создаётся соответствующая концепция языка программирования, называемая грамматикой. Прежде чем приступить к формированию грамматик, необходимо определить формальный синтаксис языка программирования.

Реализацией тематической карты будет объект <map>. Карта обладает рядом характеристик, в общем случае это название, размеры, список объектов и набор свойств, в зависимости от предметной области. Определение карты может выглядит следующим образом:

< template, размер, список объектов, характеристики >,

где

< размер > := < числовая константа > x < числовая константа >,

< список объектов принадлежащих карте > := < идентификатор объекта >,< идентификатор объекта > ,…, < идентификатор объекта >

< характеристики > := [< идентификатор объекта > | < строка >], [< идентификатор объекта > | <строка>], …, [< идентификатор объекта > | < строка >]

Реализацию типовых функций для работы с объектами, целесообразно выполнять в виде подпрограмм – процедур или функций, в зависимости от типа операции. Однако реализация некоторых специализированных функций может потребовать их объявления в качестве метода объекта. Типовые функции объединения, пересечения и дополнения, могут быть записаны следующим образом:

add(< идентификатор объекта >, < идентификатор объекта >)
der(< идентификатор объекта >, < идентификатор объекта >)
sub(< идентификатор объекта >)

После формального определения синтаксиса языка программирования следует этап построения грамматики [1]. Грамматики описываются по классическим правилам. Пример записи трех грамматик для разработанного языка:

1) def_object → e | expr_object_name list_object_parametrs; | expr_map_name list_map_parametrs;
2) expr_alg → sub(id) | add(id,tid) | der(id,tid)|expr_alg(expr_alg,expr_talg)
3) tid → id

Следующим этапом создания DSL является разработка лексического анализатора. Придерживаясь концепции создания прототипов, для быстрой разработки, целесообразно использовать готовые генераторы синтаксических анализаторов (lex, JLex, ANTLR и другие). Однако решения учитывающие специфику предметной области могут оказаться более быстрыми и менее ресурсоёмкими.

После выбора или разработки средств лексического анализа для DSL выбирается синтаксический анализатор. Существует множество готовых синтаксических анализаторов (парсеров), наиболее известными из них являются ANTLR, Yacc, Coco/R и другие. Синтаксический анализ сводиться к построению дерева разбора выражения и передачи управлению следующему компоненту программной системы (в рассматриваемом DSL – интерпретатору).

Создание DSL завершается разработкой транслятора или интерпретатора. Разработанный язык программирования для создания тематических карт является интерпретируемым и обладает небольшой вычислительной мощностью. Следовательно, целесообразно использовать однопроходную интерпретацию. Разработанный предметно-ориентированный язык программирования может использоваться для упрощения процесса создания тематических карт разной направленности. Открытость программного продукта позволяет создавать новые программные решения на его основе. Дальнейшим направлением развития разработки является её интеграции со специализированным программным обеспечением на базе ГИС-технологий.

Список литературы

1. *Alfred V. Aho*. Compilers: Principles, Techniques, & Tools / Alfred V. Aho, Monica S. Lam, Ravi Sethi, Jeffrey D. Ullman // Prentice Hall. – 2006
2. *Martin Fowler*. Domain-Specific Languages. - Addison-Wesley Professional. - 2010
3. Структура региональной геоинформационной системы при ведении выемочных работ угледобывающих предприятий Печ. Геоинформатика /Степанов Ю.А., научный журнал: НИИ ГГГ систем, Москва, Россия - М., 2012, №1. – (36-41 С).

05.13.19

И.С. Федоров, Г.П. Жигулин к.т.н.

Санкт-Петербургский государственный национальный исследовательский
университет информационных технологий, механики и оптики,
факультет «Институт комплексного военного обучения»,
кафедра мониторинга и прогнозирования информационных угроз,
Санкт-Петербург, igor.netfantom@gmail.com

СИСТЕМА ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ КОМПЬЮТЕРНЫХ ПРЕСТУПЛЕНИЙ И ОБРАЗОВАНИЯ ДОКАЗАТЕЛЬНОЙ БАЗЫ ПРИ ИХ СОВЕРШЕНИИ НА ОСНОВЕ КОНТРОЛИРОВАНИЯ ЭКРАНА ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Данная статья рассматривает проблемы контролирования действий сотрудника за компьютером. Проводится обзор существующих способов контролирования действий сотрудника за компьютером, выявляются их недостатки, и проводится обзор способа их решения.

Ключевые слова: *экран пользователя, контролирование персонала, внутренние угрозы.*

Целью данной работы является анализ существующих систем контроля экрана пользователей и устранение их недостатков.

В настоящее время огромное внимание в организациях уделяется вопросам информационной безопасности. Внедряются межсетевые экраны, средства антивирусной и антиспам защиты и многое другое. В основном все эти средства направлены на противодействие внешнему нарушителю, нисколько не защищая от нарушителя внутреннего [1].

Стоит отметить, что на текущий момент защита от внутреннего нарушителя является одним из наиболее приоритетных направлений обеспечения ИБ организации [2].

Для облегчения жизни администратора информационной безопасности существует ряд систем, позволяющих в автоматическом режиме следить и реагировать на действия пользователей. В политике безопасности организации должен быть закреплён принцип регистрации всех действий с конфиденциальной информацией, в том числе и в электронной форме. Именно записи в журналах регистрации позволяют определить круг лиц, через которых могла произойти утечка, и при успешном расследовании инцидента привлечь к ответственности нарушителя.

Различные системы фиксируют ряд действий пользователя и заносят их в журнал, но могут быть случаи, когда нарушение безопасности происходит по причине, не предусмотренной системой регистрации действия [3]. Такой случай не будет явно зафиксирован в журнале и его обнаружение будет затруднено.

Для предотвращения такой ситуации необходимо дублировать систему, регистрирующую абсолютно все действия пользователя (в том числе не предусмотренные службой безопасности). Наиболее удобной в использовании является система регистрации видео изображения на экране пользователя. Такая система наглядно покажет, что делал каждый сотрудник в определенные моменты времени.

Существующие на данный момент системы, реализующие этот принцип, имеют ряд недостатков [4]:

- ведется запись отдельно взятых изображений, а не видео потока;
- данные передаются серверу, но в случаи разрыва сети работа компьютера не блокируется и сбор данных о действии сотрудника прекращается;
- программное обеспечение распространяется с закрытым кодом и может содержать угрозу для организации;

- отсутствие кроссплатформенности;
- при всех недостатках цена на данное программное обеспечение высока.

Устранение данных недостатков позволяет построить более надежную систему и обеспечить контроль над безопасностью охраняемого объекта.

После устранения этих недостатков с использованием данных, представляемых системой, у администраторов и руководства организации появляются неоспоримые доказательства несанкционированной деятельности пользователей, и только с использованием вышеупомянутых мер возможно оперативное исправление возникших проблем [5].

Для определения оптимального варианта передачи и хранения данных с экрана пользователя было проведено сравнение следующих способов сжатия и передачи изображения:

- изображения JPG 1 раз в сек. (высокое и низкое качество);
- изображение GIF 1 раз в сек. (большое и маленькое число цветов в индексе);
- видео поток, сжатый с помощью кодека VP8.

Кодек VP8 был разработан компанией On2 и сейчас поддерживается и улучшается купившей его компанией Google. Он был выбран в первую очередь из-за бесплатной лицензии, открытого исходного кода и наибольшей производительностью среди бесплатных решений.

Кроме того кодек VP8 имеет следующие особенности [6]:

- Golden Frames —Это опорные кадры, хранящиеся в отдельном буфере и допускающие ссылку на себя спустя значительное время после их декодирования.
- Повышенная устойчивость к потере пакетов (кадры типа Recovery строятся не на базе непосредственно предшествующих кадров).
- Loop Filtering (фильтрация артефактов от DCT-кодирования, может применяться по разному к частям кадра с быстрым движением, с медленным движением, к неизменным частям).
- Multicore adaptability (возможно кодирование со множеством слабо зависимых подпотоков, позволяющее масштабировать декодирование на многоядерных архитектурах).
- Упрощено по сравнению с предыдущими кодеками On2 энтропийное кодирование и субпиксельное предсказание для ускорения декодирования.
- Realtime Quality — кодек имеет профили, оптимизированные для проведения видео-конференций в реальном времени.

По данным сетевой статистики сейчас наиболее часто среди пользователей используется одно из 3-х разрешений экрана [7]:

1) 1366x768 (26%)
2) 1280x1024 (11.4%)
3) 1280x800 (9.5%)

В качестве разрешения экрана для проведения тестов было выбрано 1280x1024 так как оно весит больше всего из представленных, а отражает ближайшие к максимальным требования к сжатию, величине канала связи и объему диска для архива.

Для исследования количества необходимого трафика для передачи видео потока с изображением экрана пользователя при кодировании кодеком VP8 видео поток сохранялся с использованием VLC media player и кодека VP8.

Запись проходила в течении 10 минут, а затем был измерен размер полученного видео файла и рассчитаны средняя скорость для передачи данных по формуле 1 и предполагаемый объем данных который будет накоплен за 1 год записи в рабочие дни (приблизительно 250 рабочих дней) по 8 часов в день по формуле 2.

$$S=V/T \quad (1)$$

Где V – объем переданных данных (размер файла) за 10 мин, кБ;

T =600 с. – время за которое был передан данный объем трафика.

$$D=6\cdot V\cdot T \quad (2)$$

Где V – объем переданных данных за 10 мин кБ;

T=2000 часов – среднее количество рабочих часов в году (8 часов. х 250 дней).

Такой же эксперимент был проведен для быстро и часто меняющегося изображения (проигрывание видео)

Результаты расчета по всем рассмотренным типам передачи данных приведены в таблице.

Таблица — Результаты расчета скорости передачи изображения, его размера и качества.

Тип передачи	Измеренные данные	Скорость передачи, кБ/сек	Объем данных за год на 1 компьютер, ГБ	Объем данных за год на 100 сотрудников, ТБ	Экспертная оценка информативности и качества изображения
Видео VP8 (текст консоли)	Трафик: 6600кБ за 10 мин.	11	79,2	7,92	Высокая Отличное
Видео VP8 (просмотр видео)	Трафик: 31200кБ за 10 мин.	52	374,4	37,44	Хорошая Отличное
JPG HIGH	1 кадр: 250кБ	250	1800	180	Низкая Отличное
JPG LOW	1 кадр: 80кБ	80	576	57,6	Низкая Хорошее
GIF 128 цветов	1 кадр: 135кБ	135	972	97,2	Низкая Хорошее
GIF 8 цветов	1 кадр: 71кБ	71	511,2	51,12	Низкая Плохое

По результатам исследования можно заключить, что наиболее качественным и удобным для хранения является способ кодирования изображения экрана пользователя в видео поток с использованием кодека VP8.

Список литературы

1. *Dawn Cappelli, Andrew Moore, Randall Trzeciak, Timothy J. Shimeall.* Common Sense Guide to Prevention and Detection of Insider Threats 3rd Edition – Version 3.1. – Carnegie Mellon University, 2009 – PP. 70-76

2. *Chris King.* «Spotlight On: Malicious Insiders and Organized Crime Activity» – Carnegie Mellon University, 2012 – 20 p.

3. *Dawn M. Cappelli, Tom Caron, Randall F. Trzeciak, Andrew P. Moore.* «Spotlight On: Programming Techniques Used as an Insider Attack Tool» – Carnegie Mellon University, 2008 – 11 p.

4. *Шаньгин В.Ф.,* «Защита компьютерной информации. Эффективные методы и средства.», М.: ДМК Пресс, 2008 – 544 с.

5. *Л. Джеймс. Фишинг.* Техника компьютерных преступлений. -М.: «НТ Пресс», 2008. - 320 с.

6. VP8 Data Format and Decoding Guide. RFC 6386. URL: http://datatracker.ietf.org/doc/rfc6386 (дата обращения 7.04.2013).

7. Статистика разрешения экрана пользователей сети интернет URL: http://top.mail.ru/resolutions?id=110605 (дата обращения 7.04.2013).

05.17.08

В.Н. Хмелёв д.т.н., Р.Н. Голых, С.С. Хмелёв к.т.н., К.А. Карзакова

Бийский технологический институт (филиал)
ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»,
кафедра Методов и средств измерений и автоматизации,
Бийск, grn@bti.secna.ru

ВЫЯВЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ И УСЛОВИЙ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КАВИТАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ ВЫСОКОВЯЗКИХ ЖИДКОСТЕЙ

Исследование выполнено при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, соглашение 14.B37.21.1173

В статье представлена разработанная модель процесса формирования кавитационной области при ультразвуковом воздействии на высоковязкие жидкие среды, учитывающая наличие зависимости вязкости жидкости от скорости сдвига. Модель позволила определять оптимальные режимы (интенсивность) и условия (размеры технологического объёма) воздействия.

Ключевые слова: *ультразвук, кавитация, вязкие жидкие среды, технологический объем.*

Материалы, характеризующиеся значительной вязкостью (полимерные наноструктурированные материалы, лакокрасочные композиции, смолы) и относящиеся к классу неньютоновских жидкостей получают все более широкое распространение. Придание таким материалам уникальных свойств путем физико-химической модификации структуры полимеров стало возможным благодаря высокой эффективности ультразвукового (УЗ) кавитационного воздействия на неотвержденные композиции [1,2].

К сожалению, УЗ воздействие не получило широкого распространения в производстве полимерных и композиционных материалов, поскольку высокая вязкость обрабатываемых сред препятствует возникновению кавитации, которая является основным движущим фактором повышения эффективности процессов [2].

Поэтому, в связи с необходимостью повышения эффективности реализуемых процессов, возникает необходимость выявления наиболее эффективных режимов (интенсивностей) и условий (размеры технологического объёма) воздействия. Ввиду сложности реализации натурных экспериментов наиболее целесообразно использовать подход к оптимизации, основанный на математическом моделировании процесса формирования кавитационной области.

Для выявления оптимальных (при которой реализуется режим развитой кавитации) режимов и условий УЗ воздействия на различные жидкие среды, на первом этапе необходим анализ динамики одиночного кавитационного пузырька. Для этого получено дифференциальное уравнение относительно радиуса пузырька как функции от времени, которое учитывает степенную зависимость вязкости жидкости от скорости сдвига (закон Оствальда):

$$\rho\left(\frac{3}{2}\dot{R}^{2}+R\ddot{R}\right)=p(R)-p_{\infty}+\int_{R}^{\infty}6\dot{R}NKR^{2N+2}\left|\dot{R}\right|^{N}\frac{6^{\frac{N}{2}}}{r^{3N+4}}\partial r=p(R)-p_{\infty}+\frac{2\dot{R}NK}{N+1}\left|\dot{R}\right|^{N}\frac{6^{\frac{N}{2}}}{R^{N+1}} \quad (1)$$

где R – мгновенный радиус кавитационного пузырька, p(R) – давление жидкости вблизи стенок кавитационного пузырька, p_{∞} – мгновенное значение звукового давления, K и N – показатели консистенции и нелинейности жидкости соответственно.

На следующем этапе проводится анализ формирования в технологических объёмах кавитационной области, представляющей собой ансамбль пузырьков. Анализ осуществляется с использованием полученного волнового уравнения для каждой из

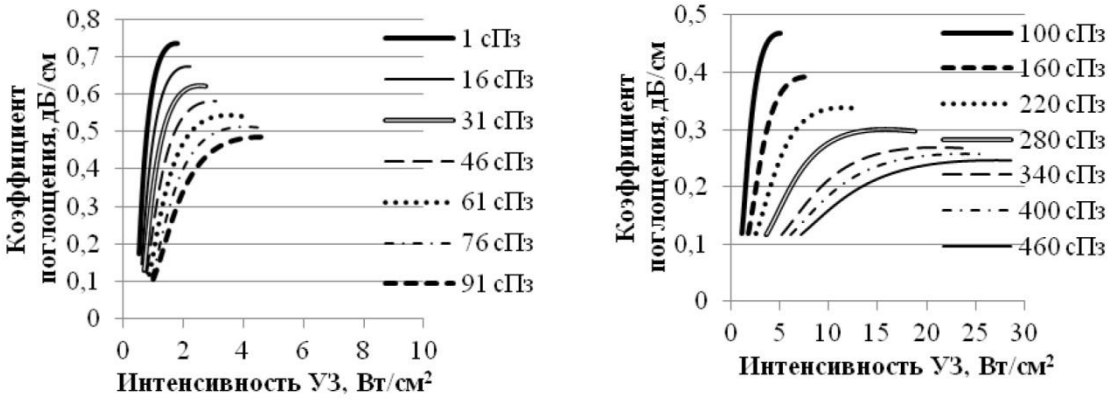
отдельных гармоник с номером *n* давления p_n и объёмного содержания кавитационных пузырьков δ_n (p_n и δ_n – комплексные амплитуды гармоник):

$$\Delta\overline{p_n} + \frac{n^2\omega^2}{c_0^{\,2}}\overline{p_n} = n^2\omega^2\rho_0\overline{\delta_n} \qquad (2)$$

Объёмное содержание кавитационных пузырьков определяется на основании известных мгновенных значений радиуса пузырька (1), и стационарной концентрации пузырьков, определяемой с использованием модели, разработанной Маргулисом [3].

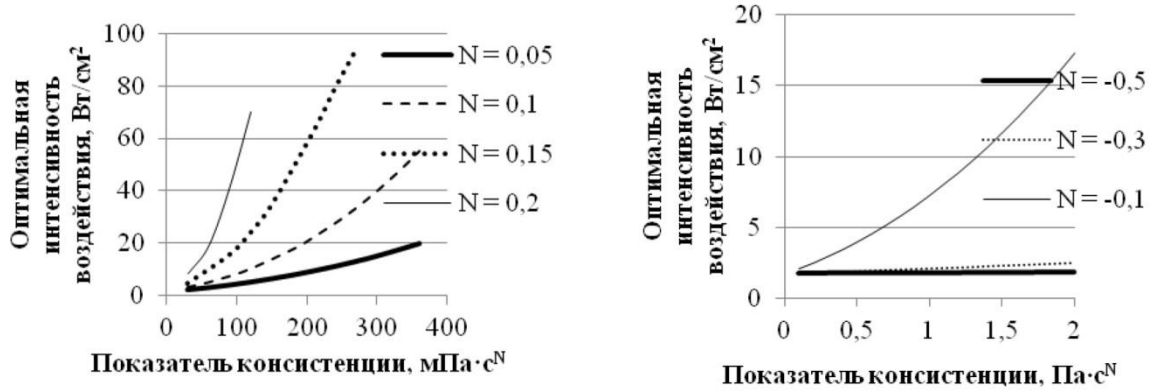
Уравнение (2) даёт возможность определить эффективный коэффициент поглощения кавитирующей жидкости, который главным образом обусловлен потерями энергии при схлопывании кавитационных пузырьков. Поэтому максимальное значение коэффициента поглощения при определённой интенсивности УЗ соответствует максимальной эффективности кавитационного воздействия.

На рис. 1 приведены зависимости коэффициента поглощения в кавитирующих линейно-вязких жидкостях от интенсивности УЗ для различных вязкостей, поскольку вязкость – основной фактор, влияющий на степень развитости кавитации в жидкой среде [2], а на рис. 2 – зависимости оптимальных интенсивностей воздействия для нелинейно-вязких жидкостей от показателя консистенции K (уравнение (1)) при различных показателях нелинейности.



а) б)

Рис. 1 – Зависимости коэффициента поглощения от интенсивности воздействия для маловязких (а) высоковязких (б) жидкостей



а) б)

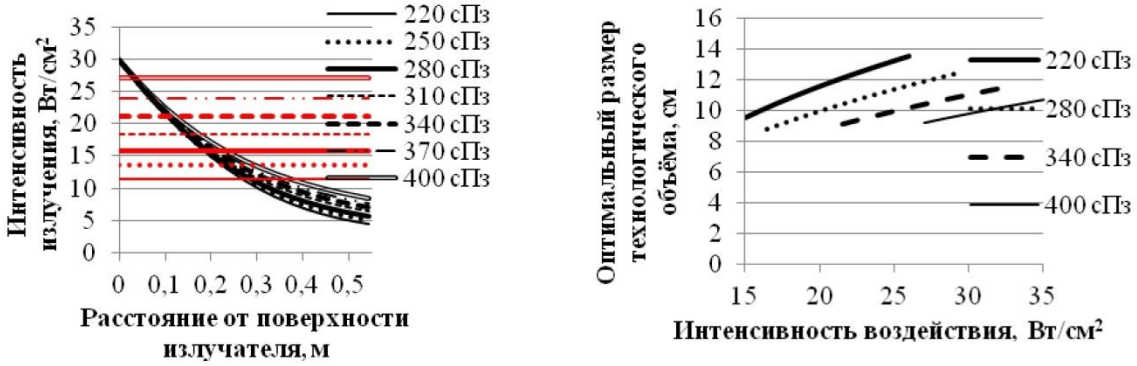
Рис. 2 – Зависимости оптимальной интенсивности УЗ от показателя консистенции для дилатантных(а) и псевдопластических(б) жидкостей

Как следует из зависимостей, приведённых на рис. 1, для жидкостей с вязкостью до 100 сПз оптимальная интенсивность 2…5 Вт/см^2, а свыше 400 сПз – более 25 Вт/см^2. При этом для дилатантных жидкостей (рис. 2а) могут требоваться очень высокие интенсивности воздействия (до 100 Вт/см^2), однако для псевдопластических (рис. 2б) (при показателях

нелинейности -0,3 и менее) – интенсивность воздействия 2…3 Вт/см^2 является достаточной в широком диапазоне показателей консистенции.

Поскольку для повышения производительности кавитационной обработки режим развитой кавитации необходимо создавать в технологических объёмах максимальных размеров, необходимо провести анализ процесса формирования кавитационной области на макроскопическом уровне в зависимости от условий распространения УЗ колебаний.

На рис. 3а приведены зависимости интенсивности создаваемого излучения от излучающей поверхности в неограниченных объёмах с учётом поглощения УЗ за счёт кавитации для высоковязких жидкостей. А на рис. 3б – зависимости максимально достигаемого размера кавитационной области при наличии отражающей стенки за счёт явления стоячих волн.



а) б)

Рис. 3 – Зависимости интенсивности УЗ колебаний от расстояния излучающей поверхности в неограниченных объёмах (а) и оптимального размера ограниченного объёма от интенсивности воздействия (б)

Как следует из представленных на рис. 3а зависимостей, при определённом расстоянии от излучающей поверхности, интенсивность воздействия достигает некоторого порогового значения (обозначено красной линией) и режим развитой кавитации не реализуется. В частности, при вязкости более 350 сПз размер кавитационной зоны не превышает 5 см, что является недостаточным для практический реализации процессов, осуществляющихся под воздействием УЗ. Наличие отражающих стенок (рис. 3б) позволяет увеличить размер кавитационной зоны до 1,5…2 раз.

Таким образом, полученные результаты теоретических исследований позволяют сделать следующие выводы.

1. С ростом вязкости обрабатываемой жидкости значительно увеличивается требуемая интенсивность УЗ воздействия (до 25 Вт/см^2 и более), при которой достигается режим развитой кавитации.

2. Выбор специализированных резонансных технологических объёмов позволит увеличить эффективность обработки до 1,5…2 раз.

Список литературы

1. *Huang, Y.D.* Influence of ultrasonic treatment on the characteristics of epoxy resin and the interfacial property of its carbon fiber composites / Y.D. Huang, et. al. // Composites Sci. Tech. – 2002. – Vol. 62, 16. – pp. 2153-2159.

2. *Khmelev V.N.* Method for Calculation of Optimum Intensity of Cavitation Influence on Viscous and Fine-dispersed Liquid Media / V.N. Khmelev, R.N. Golykh, S.S.Khmelev, R.V. Barsukov. // International Conference and Seminar on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices EDM'2011: Conference Proceedings. – pp. 245-250.

3. *Маргулис, М.А., Маргулис, И.М.* Динамика ансамбля пузырьков в кавитирующей жидкости // Журнал физической химии. – 2007. – Т. 81, №12. – С. 2290-2295.

05.11.13

П.И. Черненко

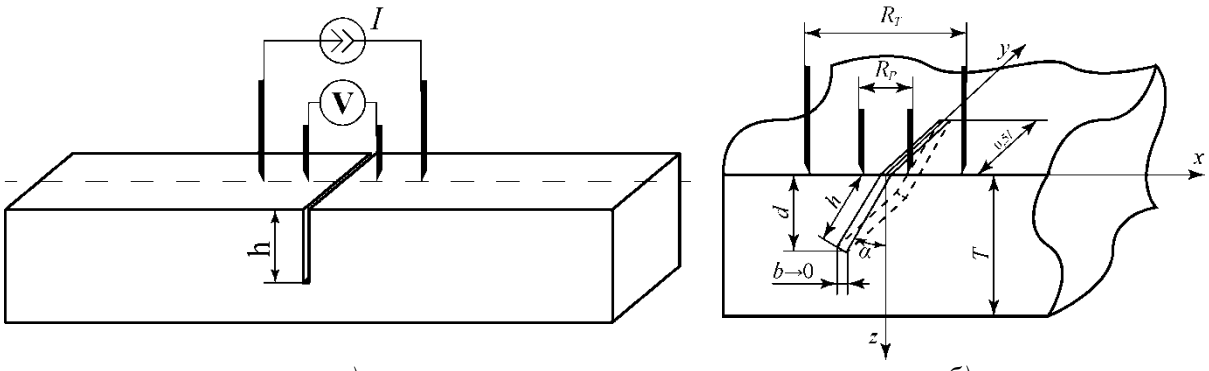
Московский государственный университет приборостроения и информатики,
НУЦ «КАСКАД»,
Москва, pacher77@gmail.com

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ИЗМЕРЕНИЯ ГЛУБИНЫ И УГЛА НАКЛОНА ПОВЕРХНОСТНЫХ ТРЕЩИН ЭЛЕКТРОПОТЕНЦИАЛЬНЫМ МЕТОДОМ

Работа посвящена разработке алгоритма для измерения глубины и угла наклона поверхностной трещины, а также оценки глубины пораженного слоя металла электропотенциальным методом.

Ключевые слова: *электрический потенциал, поверхностная наклонная трещина, электропотенциальный метод.*

Одна из основных задач неразрушающего контроля состоит в оценке параметров выявленных дефектов, в частности, поверхностных трещин. Для измерения глубины поверхностных трещин успешно применяется электропотенциальный метод [1], основанный на пропускании тока через контролируемый участок и измерении разности потенциалов на дефектном участке. В существующих электропотенциальных измерителях глубины трещин (ИГТ) измеряемая величина оценивается в предположении, что трещины ортогональны к контролируемой поверхности [2-3]. Градуировочные характеристики ИГТ получают с помощью образцов, с искусственными дефектами различной глубины, ортогональными к поверхности образца (рис. 1–а). О глубине дефекта судят по отношению напряжений $\boldsymbol{U_r}$ и $\boldsymbol{U_0}$, измеренных на дефектном и бездефектном участках, соответственно. При этом вносимое дефектом нормированное напряжение U^* определяется выражением $U^* = \frac{U_r}{U_0} - 1$.



а) *б)*

Рис. 1 – Схема измерения $\boldsymbol{U_r}$ и геометрическая расчетная модель наклонной трещины

Вместе с тем, для некоторых объектов, например, валков прокатных станов и железнодорожных рельс характерны трещины, развивающиеся не ортогонально к поверхности. Для исследования влияния угла α отклонения плоскости трещины от нормали (рис. 2–б) проводились расчеты методом конечных элементов (МКЭ).

Выполненные расчеты [4-5] показали, что погрешность измерения глубины трещин без учета влияния угла α может быть довольно велика. Например, при α = 40° она достигает 40%, а при α = 50° уже 80% от измеряемой величины. Расчеты проводились для используемого в электропотенциальном измерителе глубины трещин «ЗОНД ИГТ-98» [6]

электропотенциального преобразователя ЭПП 2×20 с межэлектродными расстояниями $R_р$=2 мм между потенциальными электродами и $R_т$=20 мм между токовыми.

Таким образом, возникает необходимость коррекции результатов измерения для чего необходимо получить информацию об угле наклона трещины. В связи с этим был проведен поиск параметров для измерения угла α и коррекции измеряемой величины *h*. Наиболее информативными оказались параметры $U_{г1}$ и $U_{г2}$, схема измерения которых представлена на рис. 2. Она основана на измерениях с асимметричным размещением электродов ЭПП относительно трещины при установке электродов на линии, перпендикулярной к следу трещины на поверхности.

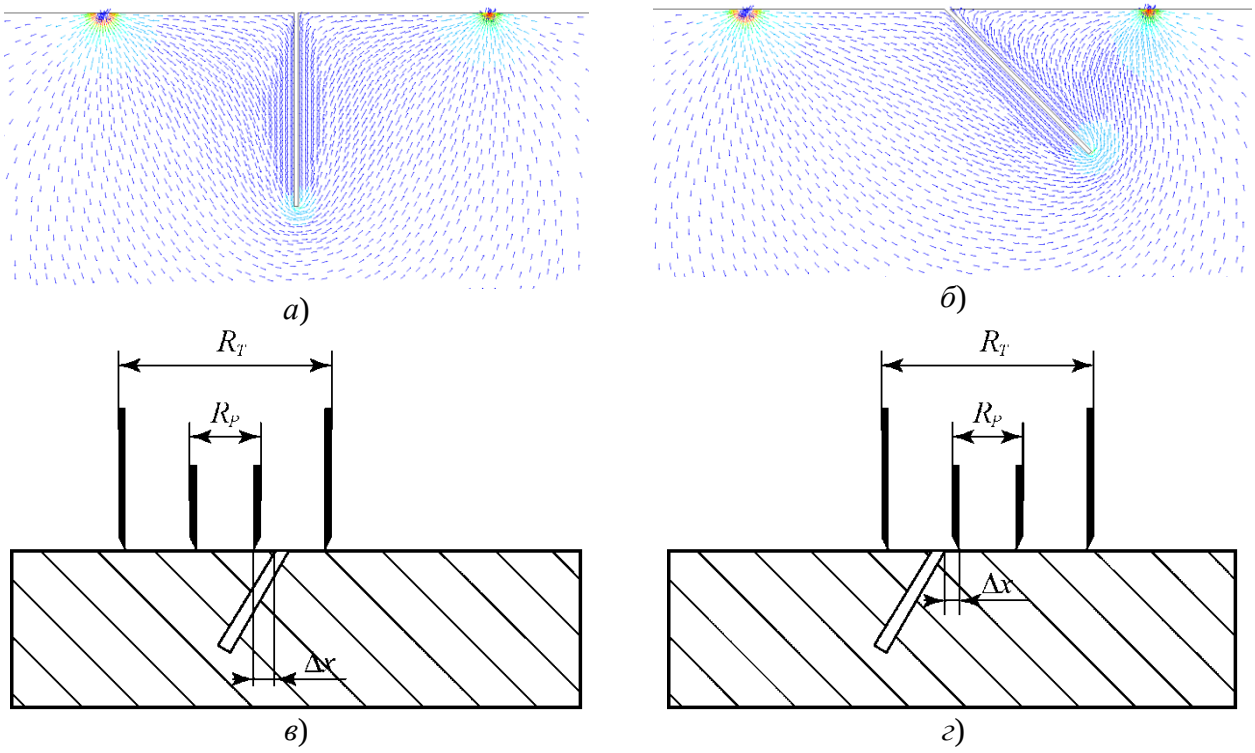


Рис. 2 – Схема получения информации об угле наклона трещины:
а – распределение тока при α=90°; *б* –распределение тока при α< 90°;
в – измерение $U_{г1}$; *г* – измерение $U_{г2}$

Из сравнения рис. 2– *а* и рис. 2– *б* видно, что при отклонении угла наклона α распределение тока становится асимметричным. Это целесообразно использовать для получения информации о величине α. В работе [7] с этой целью при измерениях след трещины размещался между потенциальными электродами и асимметрично относительно них. Однако из-за малой величины $\boldsymbol{R}_р$ = 2мм необходимо иметь дополнительный ЭПП с большей величиной $\boldsymbol{R}_р$, что крайне неудобно. Кроме того, определить угол наклона трещин малой глубины при таком способе получения информации затруднительно. Этого недостатка лишен способ получения информации путем измерения $U_{г1}$ и $U_{г2}$ в соответствии с рис. 2-*в* и рис. 2-*г*. Нормированная разность напряжений $U_{г1}$ и $U_{г2}$, полученных при смещенных положениях электродов относительно трещины, несет информацию об угле α, но в тоже время зависит и от глубины трещины. Для одновременного определения параметров α и *h* по результатам измерения $U_г$, $U_{г1}$ и $U_{г2}$ рассчитана градуировочная плоскость, представленная на рис. 3, где $\Delta U^*_{сдв} = (U_{г1} - U_{г2})/ U_0$, а $U^* = (U_г - U_0)/U_0$. При измерениях использовался ЭПП 2×20, а смещение Δx = 2 мм. Анализ полученных зависимостей показывает их однозначность при изменении глубины во всем диапазоне, при этом влиянием длины ℓ трещины для определения угла α весьма мало и при $3R_Р < \ell < 1{,}5R_Т$.

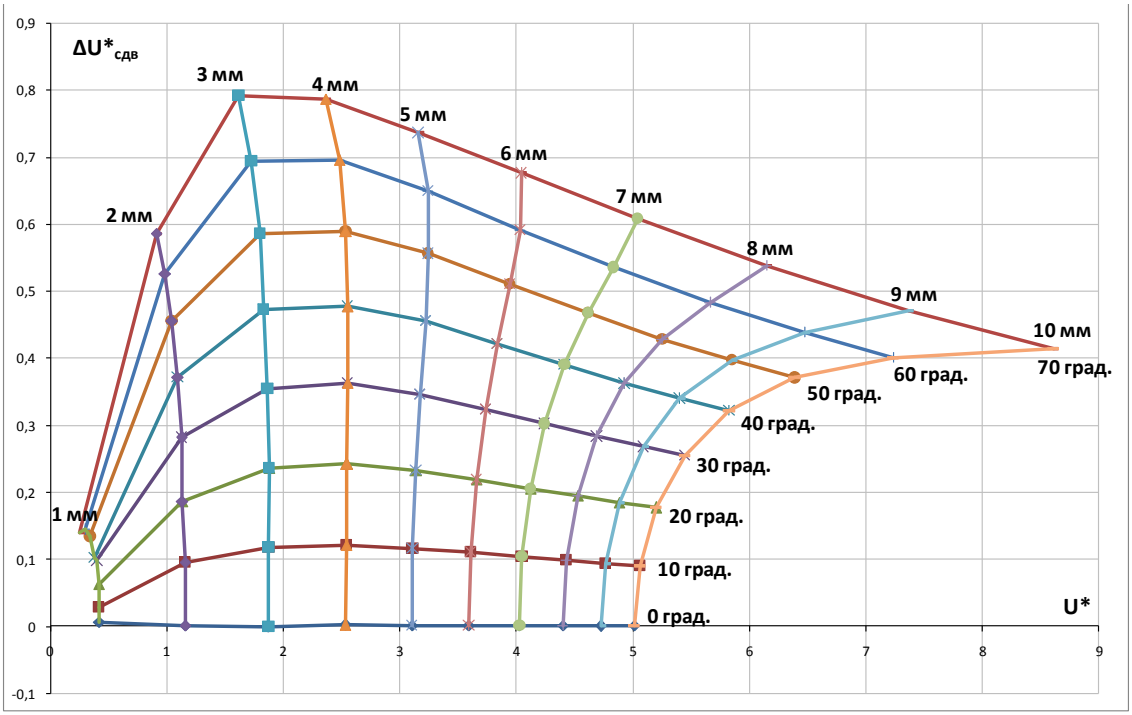


Рис. 3– Градуировочная плоскость для определения α и h по результатам измерения U_r, U_{r1} и U_{r2}

Таким образом, алгоритм измерения глубины трещины h и угла ее наклона ℓ можно представить в виде блок-схемы, представленной на рис. 4. Он включает измерение $\boldsymbol{U}_0$ на бездефектном участке и 3 измерения на дефектном: при симметричном размещении ЭПП (измерение $\boldsymbol{U}_r$) и при асимметричном (измерение $\boldsymbol{U}_{r1}$ и $\boldsymbol{U}_{r2}$) с последующей обработкой результатов на основе градуировочной плоскости, представленной на рис. 3.

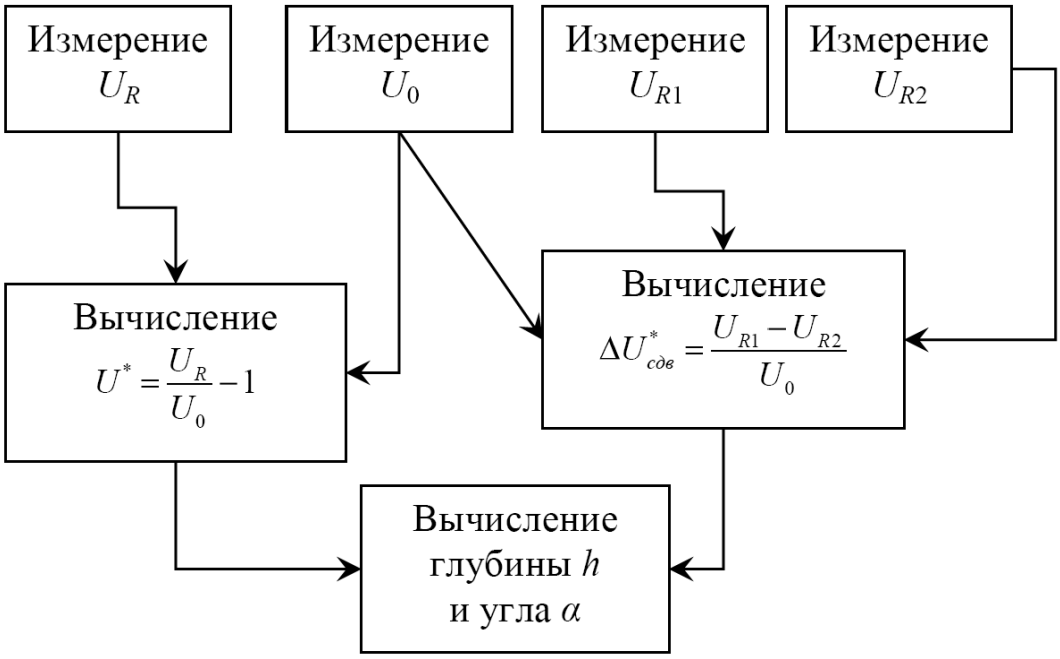


Рис. 4. Алгоритм измерения глубины трещины и угла ее наклона.

Разработанный алгоритм используется в электропотенциальном измерителе глубины трещин «ЗОНД ИГТ-98» [6], что позволо расширить его функциональные возможности за счет измерения параметров наклонных трещин.

Список литературы

1. Неразрушающий контроль: Справочник в 8 томах. Под ред. В.В. Клюева. Т. 5. Кн. 2: Электрический контроль/К.В. Подмастерьев и др.– М.: Машиностроение, 2004. – 679 с.
2. *Saguy H, Rittel D.* Flaw detection in metals by the ACPD technique: Theory and experiments. NDT&E International 40 (2007) 505–509.
3. *Saguy H, Rittel D.* Bridging thin and thick skin solutions for alternating currents in crack conductors. Appl. Phys. Lett. J 2005;87:84103–84103/3.
4. *Черненко П.И.* Исследование погрешности измерения глубины поверхностной трещины электропотенциальным методом под влиянием наклона ее плоскости к поверхности//Труды XXI Международного научно-технического семинара «Современные технологии в задачах управления, автоматики и обработки информации».– Алушта.–2012 г.– С. 169 - 170.
5. *Шкатов П.Н., Черненко П.И.* Теоретическое исследование выходных характеристик электропотенциального преобразователя при его взаимодействии с наклонными трещинами конечной длины // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии.– № 6 (293). – 2012.– С. 17-22.
6. *Шкатов П.Н.* Компьютеризированный измеритель глубины трещин «ЗОНД ИГТ-98» //Контроль. Диагностика.– М.: Машиностроение.- № 2.–1988.-С. 21–24.
7. Авт. свидетельство СССР № 1500088.– Способ градуировки электропотенциальных измерителей глубины поверхностных трещин с учетом угла их наклона // Шкатов П.Н. и др.– G01N 27/90.–1989 г.

05.12.07

А.С. Шакиров к.т.н.

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н.Туполева-КАИ, институт радиоэлектроники и телекоммуникаций,
кафедра телевидения и мультимедийных систем,
Казань, shakirov_albert@mail.ru

РАДИОЧАСТОТНЫЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

В работе, на примере модельной ситуации, многочастотном СВЧ нагреве в рупорной камере, показана возможность использования мощного энергетического воздействия для контроля качества изготавливаемых композиционных материалов.

Ключевые слова: *СВЧ нагрев, контроль, многочастотный, композиционный материал.*

При решении задачи обработки электромагнитными полями СВЧ диапазона качество обработки связывают с соответствием формируемых полей требуемым. Неравномерность распределения температурных полей в обрабатываемом материале, независимо от способа нагрева, сопровождается температурными напряжениями, которые способны разрушить нагреваемое изделие.

Наиболее остро данная проблема проявляется в процессе изготовления изделий из композиционных материалов. Неравномерность нагрева или неравномерность охлаждения приводит к существенному снижению качества изготавливаемого изделия вплоть до полного разрушения как заготовки изделия, так и формующей оснастки [1,2].

Таким образом, важной проблемой является как обеспечение равномерности формируемых полей, так и контроль в процессе обработки. Обеспечение равномерности температурных полей, в большинстве случаев, сводиться к задаче [3]:

$$W\left(\vec{r}\right)=\sigma\left|\sum_{i=1}^{N}\dot{A}_i\cdot\vec{E}_i\left(\vec{r}\right)\right|^2\rightarrow W_{\text{зад}}\left(\vec{r}\right) \qquad (1)$$

где $\dot{A}_i$ - комплексная амплитуда возбуждения i-го излучателя, имеющих смысл амплитуды падающей волны; $\vec{E}_i\left(\vec{r}\right)$ - парциальное распределение электромагнитных полей, формируемых i-м излучаем, с учетом наличия других излучателей. При использовании одиночного мощного источника:

$$\vec{E}(\vec{r})=\vec{e}_1\left(\vec{r}\right)\left(1-\dot{S}_{11}\right)\dot{U}_1 \qquad (2)$$

где $\dot{S}_{11}$ - комплексный коэффициент отражения, $\dot{U}_1$ - комплексная амплитуда падающей волны. В данном случае необходимо заметить, что коэффициент отражения существенно влияет на эффективность функционирования всего технологического комплекса, использующего технологию СВЧ обработки. Более важным является влияние свойств обрабатываемых материалов на величину коэффициента отражения.

Для выявления зависимости удобно рассмотреть на примере камеры обработки с рупором достаточно большой длины, в раскрыве которого устанавливают обрабатываемый образец композиционного материала в состоянии препрега вплотную прилегающий к отражающей поверхности.

Размеры рупора определяются условием практической синфазности поля в раскрыве $L_{horn}\geq L_{apert}^2/\lambda$. Использование закрытой системы с отражающей нагрузкой требует решения проблемы согласования. Наличие препрега в раскрыве рупора, перед отражающей поверхностью приводит к тому, что значение коэффициента отражения в сечении входного

фланца будет отличаться от значения, соответствующего отражению плоской волны от плоской границы проводящей поверхности и воздуха. Указанные отличия обусловлены рядом причин, наиболее существенными из которых являются следующие:

1. Отличие характеристического сопротивления волны в волноводе и в свободном пространстве. Сравнение значений коэффициента отражения свободного пространства и коэффициента отражения для волновода показывает, что при размере раскрыва рупора более 2.5…3.5 длины волны с их различием можно не считаться. Напротив, отличие их при размерах волновода соответствующих одномодовому режиму работы может оказаться заметным.
2. Более существенное значение может оказать наличие отражений от входа рупора. Суть этого фактора можно рассмотреть на модели, состоящей из реактивного четырехполюсника, к выходам которого присоединена отражающая нагрузка.

При наличии отражений от входа четырехполюсника, в зависимости от фазового множителя φ, величина входного коэффициента отражения $\Gamma_{вх}$ будет в той или иной мере отличаться от значения коэффициента отражения нагрузки Γ. Эти отличия будут тем большими, чем больше собственный коэффициент отражения S_{11}. Таким образом, можно рассчитывать на то, что использование этого приема может существенно ослабить негативное влияние трансформирующих свойств рупора как четырехполюсника.

Очевидно, что для разных рупоров, трансформация коэффициентов отражения будет происходить в разных пропорциях. В данном разделе приведены результаты расчета для двух вариантов рупоров с заглушкой из проводящих листовых материалов. При этом наличие препрега в раскрыве рупора приводит к уменьшению отражений от отражающей нагрузки, что при моделировании можно расценивать как снижение проводимости отражающей нагрузки. В таблице 1 приведены значения эффективной проводимости в зависимости от толщины препрега при наличии отражающей стенки.

Таблица 1 – параметры моделируемых препрегов.

Материал отражающей стенки	Материал композита	Толщина композита; [мм]	Эквивалентная проводимость $\left[\frac{\text{Сим}}{\text{метр}}\right]$
Медь	Нет	0	$5.998 \cdot 10^7$
Медь	Стеклопластик	1	$6 \cdot 10^5$
Медь	Стеклопластик	2	$1 \cdot 10^5$
Медь	Стеклопластик	3	$1 \cdot 10^4$
Медь	Стеклопластик	5	$5 \cdot 10^3$
Медь	Стеклопластик	10	316
Медь	Стеклопластик	25	100
Воздух	нет	0	0

Геометрические размеры первого из рассчитанных рупоров приведены ниже (рисунок 1). Размеры второго из рассчитанных рупоров соответствует измерительной антенне П-23А (рисунок 2). Второй вариант рупора отличается от первого не только размерами, но и более «хорошим» согласованием в требуемом диапазоне частот. Расчеты проведены с использованием пакета мультифизического моделирования, использующего метод конечных элементов, COMSOL Multiphysics 3.4. для обоих рупоров расчет производился в частотном диапазоне 3-5 ГГц с числом частотных расчетных точек равных 500.

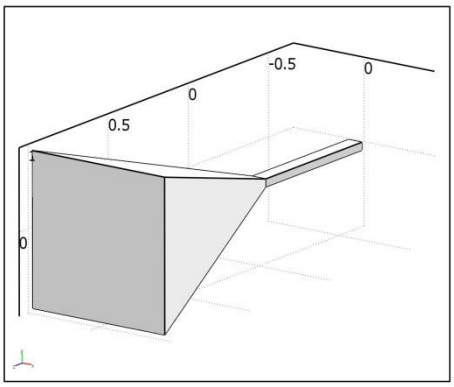


Рис. 1 – Первый вариант рупора

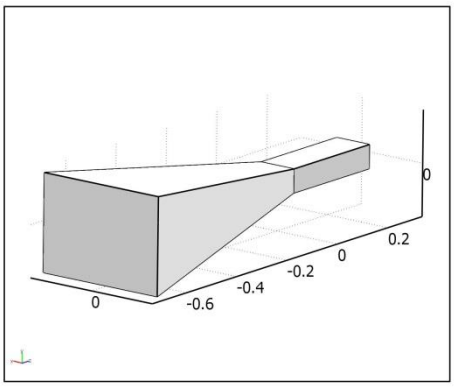


Рис. 2 – Второй вариант рупора

Воспользовавшись тем или иным методом, можно определить коэффициент отражения на входе в нагруженный волновод. Собственный коэффициент отражения рассматриваемых рупоров приведен на рисунках 3 и 4 соответсвенно.

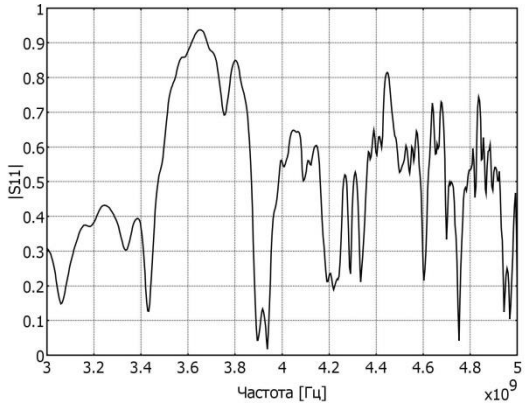


Рис. 3 – Собственный коэффициент отражения для первого варианта рупора

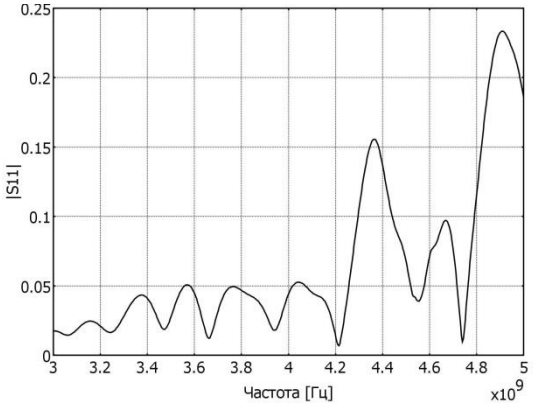


Рис. 4 – Собственный коэффициент отражения для второго варианта рупора

Очевидно, что приведенные данные, в определенной степени, являются вероятностными и могут быть описаны с позиции теории вероятности и математической статистики. При этом значение модуля коэффициента отражения рассматриваются как значения случайная величина. Результаты обработки представлены в таблице 2 и на рисунке 5.

Таблица 2 — Результаты двух вариантов рупора.

$\sigma\left[\frac{\text{Сим}}{\text{метр}}\right]$	$\lg(\sigma)$	Среднее значение в диапазоне частот		Стандартное отклонение	
		Вар.1	Вар.2	Вар.1	Вар.2
$5.998\cdot10^{7}$	7.778	0,949	0.9158	0,1117	0.1474
$6\cdot10^{5}$	5.778	0,816	0.9096	0,1949	0.1484
$1\cdot10^{5}$	5	0,731	0.9025	0,2111	0.1496
$1\cdot10^{4}$	4	0,616	0.8843	0,2272	0.1512
$5\cdot10^{3}$	3.699	0,592	0.8758	0,2301	0.1507
100	2	0,522	0.7778	0,2204	0.168

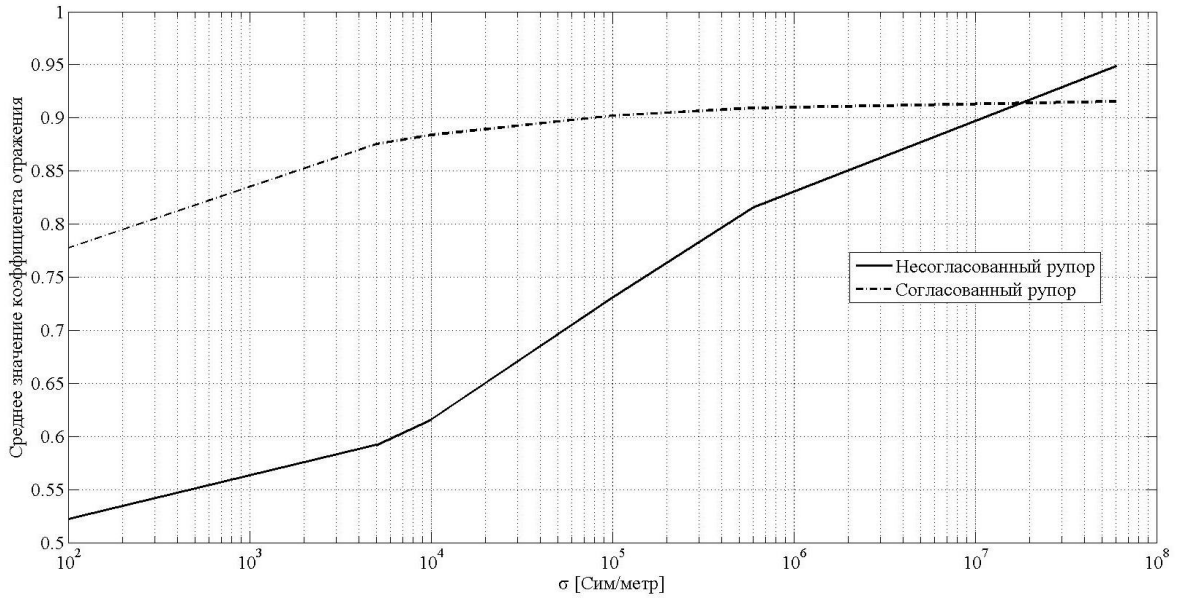


Рис. 5 – Зависимость среднего значения коэффициента отражения в диапазоне частот для согласованного и несогласованного рупора, с образцом материала в раскрыве.

5. Заключение

Как и следовало ожидать использование рупора, предварительно согласованного в заданном диапазоне частот менее восприимчив к изменению свойств отражающей нагрузки. При этом необходимо выполнение условия одномодового режима работы возбуждающего волновода.

Данный результат позволяет утверждать о необходимости включения в состав СВЧ технологического комплекса широкополосного генератора, обеспечивающего генерацию в полосе частот одномодового режима. Также в системе должна быть предусмотрена подсистема измерения коэффициента отражения от входа, причем данная подсистема должна обеспечивать измерение на всех частотах и во всем рабочем диапазоне частот.

Работа выполнена в рамках государственного задания на оказание услуг (выполнение работ) по организации научных исследований, выполняемых ФГБОУ ВПО «КНИТУ-КАИ» на кафедре телевидения и мультимедийных систем и в научно-исследовательском институте прикладной электродинамики, фотоники и живых систем (программа «Симметрия»).

Список литературы

1. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий. Справочник в двух книгах. Под ред. *В.В.Клюева*. Том 1. М.: Машиностроение, 1986. 488 с.
2. *Халиулин В.И., Шалаев И.И.* Технология производства изделий из композиционных материалов: Подготовка производства и формирование структуры изделий из полимерных композиционных материалов: Конспект лекций. Казань: Изд-во Казан, гос. техн. ун-та, 1998. 63 с.
3. Низкоинтенсивные микроволновые технологии. Методы и аппаратура / Г.А. Морозов, О.Г. Морозов, Н.Е. Стахова, В.В. Степанов, Ю.Е. Седельников. Под редакцией *Г.А. Морозова и Ю.Е. Седельникова*. – М.: Радио и связь, 2003 – 128 с., ил.
4. *Мищенко С.В., Малков Н.А*. Проектирование радиоволновых (СВЧ) приборов неразрушающего контроля: Учеб. пособие. - Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2003. - 128 с.

05.22.06

Е.И. Шехтман

Петербургский государственный университет путей сообщения,
строительный факультет, кафедра железнодорожный путь,
Санкт-Петербург, dou@pgups.edu

О НЕКОТОРЫХ АСПЕКТАХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В СИСТЕМЕ «КОЛЕСО - РЕЛЬС»

В статье изложены следующие вопросы:

некоторые наиболее важные теоретические аспекты контактного взаимодействия системы колесо-рельс, которые могут быть полезны и при решении других контактных задач;

теоретические обоснования отдельных наиболее важных аспектов определяющих эффективность проведения различных мероприятий по управлению техническим состоянием пути, в частности, управления трением;

приведены примеры практического применения некоторых систем управления трением на полигонах железных дорог других стран;

предлагается перечень возможных мер по решению проблемы управления техническим состоянием пути.

Ключевые слова: *вертикальная погонная жесткость, горизонтальная продольная жесткость.*

Железнодорожный путь как часть механической системы «вагон - путь» описывается совокупностью характеристик, которые можно разделить на две группы: характеристики, определяющие реакцию пути на динамическое воздействие колеса, и характеристики, определяемые остаточными деформациями, накапливаемыми в пути под воздействием подвижного состава.

Одной из основных характеристик пути является жесткость. Различают вертикальную, горизонтальную поперечную (боковую) и горизонтальную продольную жесткость. Под жесткостью понимается отношение приложенной к головке рельса соответствующей силы (вертикальная, горизонтальная) к возникающему в точке приложения силы прогибу в вертикальной или поперечной горизонтальной плоскости. Применительно к подрельсовому основанию пути применяется понятие «вертикальная погонная жесткость основания» и «горизонтальная продольная жесткость пути». Эту жесткость называют «физическим модулем упругости пути», под которым понимается реакция основания пути на единице его длины при деформации основания, равной единице; размерность МПа.

Вертикальную жесткость в расчетах пути используют как статическую, так и динамическую (в основном известны значения статической жесткости, так как методы определения динамической жесткости пока далеко не совершенны).

Вертикальная жесткость зависит в основном от материала шпал, конструкции промежуточного скрепления, природно-климатических факторов, рода балласта, грунтов земляного полотна.

Кроме вертикальной жесткости необходимо учитывать и боковую жесткость рельсов, которая увеличивается с увеличением жесткости прокладок между рельсом и подкладкой, подкладкой и шпалой, боковой жесткости упора подошвы рельса в скреплениях, вертикальной нагрузки рельсов на шпалы.

Горизонтальная продольная жесткость пути оценивается модулем упругости пути при продольных деформациях рельса по его основанию, под которым понимается равномерно

распределенная сила, которую необходимо приложить к единице длины основания рельса при его упругом продольном перемещении на единицу длины, размерность МПа.

Вертикальная жесткость пути летом примерно равна 26-30 МН/м при деревянных шпалах и 100-120 МН/м при железобетонных шпалах; горизонтальная жесткость соответственно 20 МН/м при деревянных шпалах и раздельном скреплении рельсов и 25 МН/м при железобетонных шпалах и раздельном скреплении рельсов. Зимой вертикальная жесткость пути в 1,5-2,2 раза выше, чем летом, при деревянных шпалах и в 1,5-1,8 раза при железобетонных. Горизонтальная жесткость пути зимой в 1,2-1,25 раз выше, чем летом. Горизонтальная продольная жесткость пути равна 14,2-15 МПа при щебеночном балласте и эпюре шпал 1840 шт./км. и 4,8-5,5 МПа при песчаном балласте и эпюре шпал 1840 шт./км.

Под воздействием нагрузки от вагонов в конструкции пути возникают силы трения, которые можно разделить на силы сухого трения, пропорциональные просадке рельса, и силы вязкого трения, пропорциональные скорости изменения просадки рельсов. Силы инерции, возникающие в верхнем строении пути при безударном движении и при ударах колес о рельсы в зоне стыков или из-за наличия ползунов на колесах и в других случаях, связаны с образованием волн деформации колебательного процесса системы «колесо-путь».

Под воздействием динамических сил от колес подвижного состава в элементах верхнего строения пути, непрерывно накапливаются остаточные деформации, интенсивность накопления которых не однородна по времени и протяжению пути (поперечному сечению). Поэтому со временем возникают различного рода неровности пути, двигаясь по которым колеса подвижного состава начинают совершать поступательные и вращательные движения, в результате которых возникают дополнительные динамические силы инерционного характера.

Следовательно, вертикальные и поперечные горизонтальные неровности рельсов как следствие непостоянной по длине пути жесткости верхнего строения и неравномерного по длине накопления в нем остаточных деформаций являются одной из основных причин колебаний подвижного состава и связанного с ним в единую механическую систему верхнего строения пути.

Неуправляемое взаимодействие колеса и рельса приводит к неудовлетворительному вписыванию экипажей в кривые, вследствие чего возрастают значения поперечных сил, а это, в свою очередь, обусловливает увеличение расхода топлива на тягу и приведет к интенсивному износу рельсов.

Управление техническим состоянием пути позволит увеличить жизненный цикл конструкций и оптимизировать расходы на его техническое обслуживание.

Например, управление трением. В зоне контактного пятна можно, помимо двух основных тел - колеса и рельса, выделить своего рода третье тело - промежуточный слой, состоящий из смеси оксида железа, продуктов истирания колес и рельсов, внешних загрязнителей и множества других инородных материалов, попавших сюда случайно или закономерно. Давление в зоне контакта колеса с рельсом весьма значительно, и упомянутая смесь материалов, выполняя роль своеобразной прокладки, снижает уровень контактных напряжений. При этом в реальных условиях практически всегда наблюдается некоторое линейное относительное перемещение колеса относительно рельса, т. е. движение колеса фактически представляет собой сочетание качения и скольжения по поверхности рельса.

Такое явление имеет место, в частности, при движении в кривых, при разгоне и торможении. На состояние слоя разнородных материалов, находящегося между контактирующими поверхностями колеса и рельса, влияет перемещение колеса относительно рельса, что ведет к возникновению усилий сдвига. При известном значении действующей силы и относительного перемещения можно рассчитать величину работы и энергии. В контактном пятне возникают крайне высокие значения напряжений, превосходящие условный предел текучести рельсовой стали. В зоне контакта такого усталостного характера происходит интенсивный износ рабочих поверхностей колес и

рельсов, увеличивается расход энергии (топлива) на тягу, возникают контактно-усталостные явления, растет уровень создаваемого шума и другие негативные процессы.

В связи с этим во многих регионах и странах расширяется полигон внедрения систем управления трением. Так, в Северной Америке на железных дорогах первого класса с движением тяжелых грузовых поездов находят применение так называемые системы полного управления трением (Total Friction Management, TFM), совместно поставляемые Kelsan Technologies и Portec Rail Products обеспечивающие точный контроль трения, как на рабочих гранях, так и на поверхностях катания рельсов.

Первоначально системы TFM внедрялись с помощью напольного рельсо-смазочного оборудования, устанавливаемого на перегонах, однако в соответствии с требованиями заказчиков могут быть применены и другие варианты.

Возможными решениями задач по управлению техническим состоянием пути могут быть меры по разработка профилей рабочих поверхностей колес и рельсов и их взаимная увязка, исключающая возникновение значительных напряжений на контактах; улучшение управляемости тележек; снижение ударных нагрузок; внедрение оборудования для точного измерения геометрических параметров рабочих поверхностей колес и рельсов и коэффициента трения между ними. Все это позволит прогнозировать динамические характеристики подвижного состава, износ и контактно усталостные явления и вырабатывать практические рекомендации по улучшению условий контакта колес с рельсами.

Список литературы

1. *Климов Я.В.* «Оценка существующих методов расчета верхнего строения пути на прочность и возможности их применения при восстановлении железных дорог» // Научно-технический сборник. Выпуск №21 ВТУ ЖДВ и ВОСО (филиал) ФГВОУ ВПО «ВАТТ имени генерала армии А.В. Хрулева», - 2011.

2. *Певзнер В.О.* «Деформативность и стабильность пути» // Путь и путевое хозяйство. - 2005. - № 2

3. *Шаповалов В.В., Майба И.А.* и др. «Повышение эффективности системы «путь – подвижной состав»» // Локомотив.-2011. - № 5, 6

05.13.18

И.А. Штырова

Балаковский институт техники, технологии и управления
(филиал) ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А.», кафедра «Информационные системы и технологии»,
Балаково, irina-shtyrova@mail.ru

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ВУЗОВСКОГО ЦЕНТРА ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

В современных условиях актуальным вопросом является развитие непрерывного образования. В связи с этим необходимо интегрирование вузовского дополнительного образования в единую образовательную систему университета. Автоматизация управленческой деятельности структуры дополнительного образования в вузе позволяет оптимизировать образовательный процесс. В данной статье рассматривается процесс проектирования информационно-аналитической системы вузовского центра дополнительного образования.

Ключевые слова: *информационная система, функциональная модель информационной системы, логическая модель информационной системы.*

В настоящее время в вузах создается информационно-образовательная среда, одной из подсистем которой является информационно-аналитическая система учебного процесса, обеспечивающая информационную поддержку всех этапов управления образовательным процессом.

Но помимо обучения по основным образовательным программам высшего профессионального образования в вузах приоритетным направлением также становится дополнительное профессиональное образование, что обусловлено значительным качественным и количественным изменениями научно-технической информации, повышением мобильности специалистов под воздействием динамично изменяющегося рынка трудовых ресурсов. Это касается не только специалистов, уже получивших образование, но и студентов, которые еще осваивают базовые знания своей будущей профессии и параллельно с основным образованием считают необходимым получение дополнительной квалификации. Кроме этого, сами вузы заинтересованы в абитуриентах, имеющих высокие стартовые знания, поэтому еще одним направлением дополнительного образования вузов является довузовская подготовка, создающая условия для успешной сдачи ЕГЭ. Таким образом, для вузов становится актуальным создание эффективно работающих центров дополнительного образования (ЦДО).

Однако следует учитывать, что организация образовательной деятельности вузовских ЦДО имеет существенные особенности по сравнению с основными образовательными программами: многообразие образовательных программ по категориям слушателей, по формам, по выдаваемым документам об образовании; нацеленность на получение конечного результата в короткие сроки; гибкость (учет изменяющихся потребностей рынка образовательных услуг); неоднородность контингента; более интенсивные образовательные технологии; большее разнообразие используемых форм обучения. Поэтому использование стандартных решений для осуществления информационной поддержки управления вузовским ЦДО является неэффективным, соответственно необходимо создание информационно-аналитических систем (ИАС), учитывающих особенности функционирования вузовских ЦДО, обеспечивающих принятие управленческих решений по их деятельности и интегрируемых в информационно-образовательную среду вуза.

Указанные особенности деятельности вузовских ЦДО должны быть учтены при

проектировании ИАС, так как именно на этом этапе определяются функциональные требования к системе, ее структуре и проводится разработка ее модели.

При построении функциональной модели центр определяем как структурное подразделение вуза, которое обеспечивает все процессы предоставления дополнительного образования, включая профессиональную переподготовку, повышение квалификации, подготовку к поступлению в вуз, получение дополнительной квалификации студентами [1]. Причем, исследование и формализацию бизнес-процессов деятельности центра проводим, используя методологию IDEF0, обеспечивающую четкое моделирование логики и взаимодействия процессов, происходящих в вузовском ЦДО. Как базовые подпроцессы центра выделяем выбор курса обучения, оформление документации на обучение, учебный процесс, оформление документов об окончании обучения (рисунок 1).

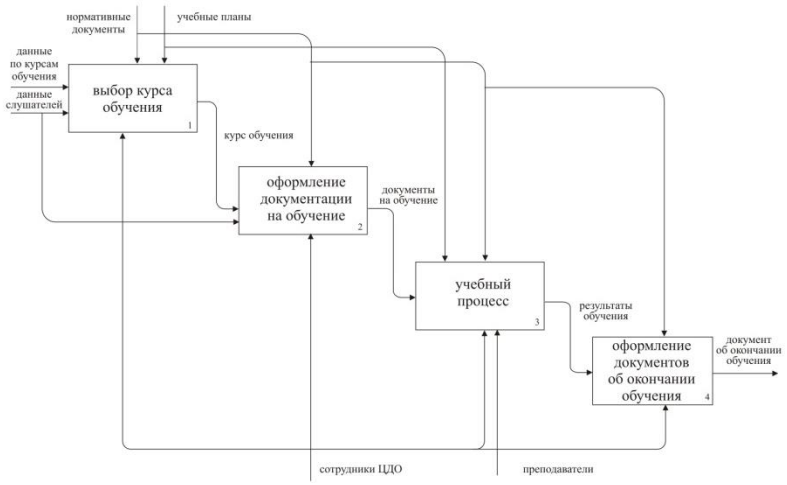


Рис.1 -Функциональная диаграмма ЦДО

Последующая декомпозиция всех базовых процесов системы ЦДО позволяет проанализировать потоки документооборота и обеспечить необходимую детализацию деятельности центра для построения логической модели ИАС. Проведенный в ходе выполнения работы анализ данных, отражающих деятельность центра за достаточно продолжительный период времени, включая данные об обучающихся в центре, преподавателях, образовательных программах, реализующихся в центре, финансово-ресурсном развитии центра [2], позволил в структуре ИАС выделить функциональные подсистемы и использовать их в качестве базовых для создания структурно-функциональной модели взаимодействия подсистем ИАС (рисунок 2).

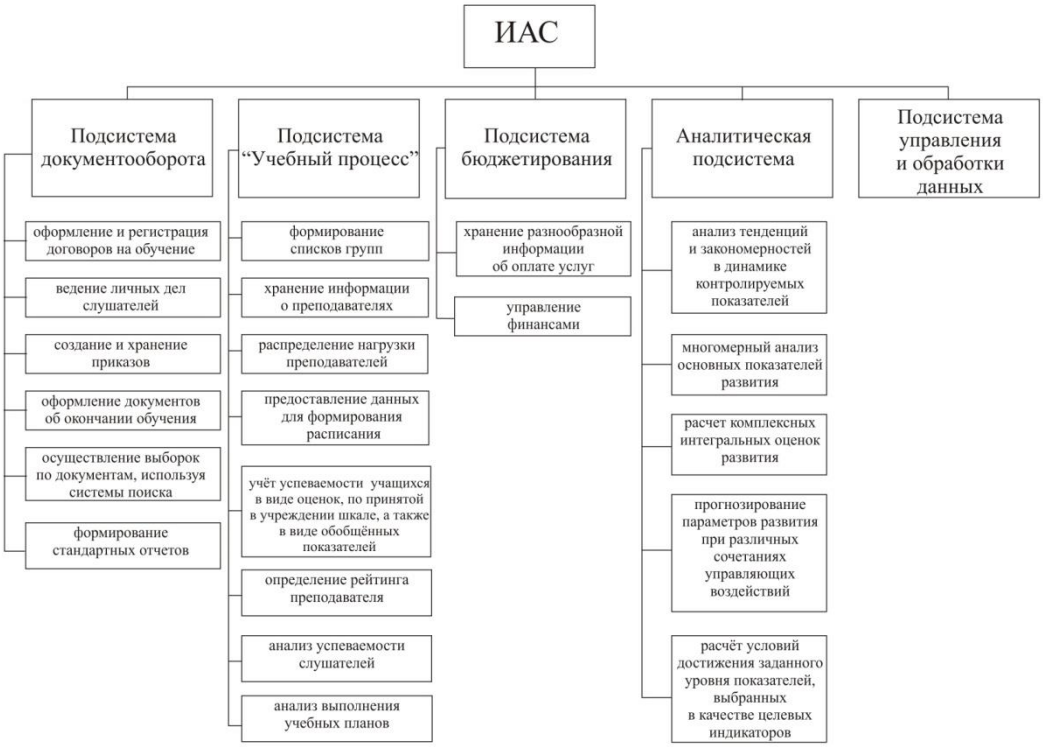


Рис.2 - Структурно-функциональная модель взаимодействия подсистем ИАС

Такое представление структуры ИАС ЦДО является универсальным и может быть использовано при создании аналогичных систем в других вузах. Далее на основании разработанной структуры с использованием методологии IDEF1X [3] проводим построение логической модели ИАС. В качестве примера на рисунке 3 приведена логическая модель подсистемы документооборота.

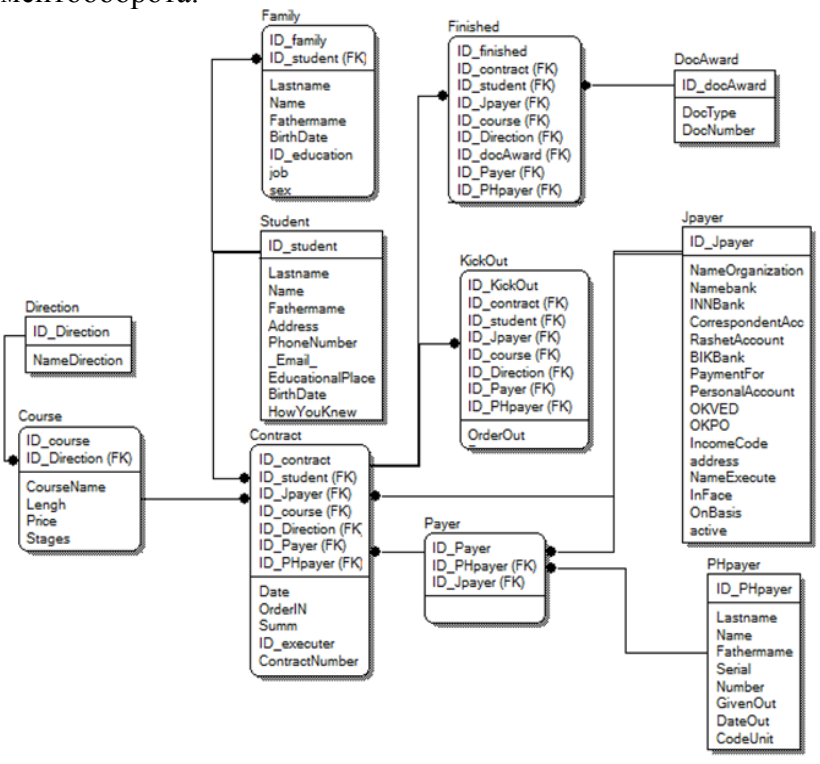


Рис.3 - Логическая модель подсистемы «Документооборот»

Моделирование подсистемы управления и обработки данных ИАС выполняем с использованием языка графического описания UML. Полученные диаграммы вариантов использования, классов, состояний и компонентов позволяют получить полное представление о разрабатываемой подсистеме. При построении диаграммы вариантов использования необходимо учитывать все возможные действия с системой двух групп пользователей: оператора и администратора (рисунок 4).

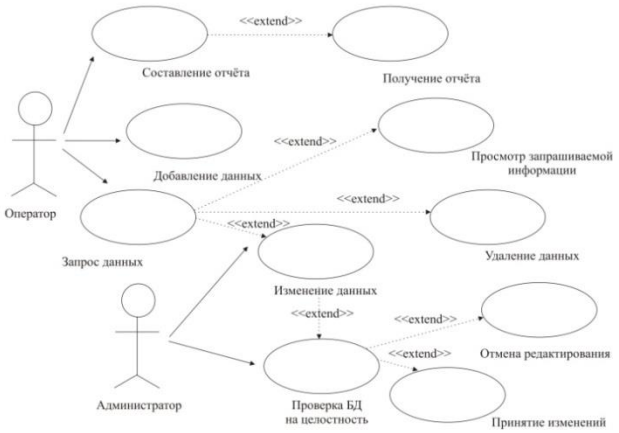


Рис. 4. Диаграмма вариантов использования

Разработанная модель позволяет оптимизировать процесс дальнейшей физической реализации информационно-аналитической системы вузовского ЦДО. ИАС основана на концепции хранилища данных с использованием OLAP-технологий, что дает возможность проведения многофакторного анализа хранящихся данных.

Внедрение ИАС в Центре дополнительного образования компьютерных технологий Comtech БИТТУ (филиал) СГТУ имени Гагарина Ю.А. обеспечило оптимизацию сбора информации об участниках образовательного процесса, управленческой и учетной информации, а также реализацию управленческих решений, включая анализ и контроль педагогического процесса и исполнения принятых решений, моделирование перспективы развития центра. Данная система интегрирована в существующую информационную образовательную среду вуза и осуществляет информационную поддержку управленческой деятельности в сфере вузовского дополнительного образования.

Список литературы

1.*Виштак О.В., Штырова И.А.* Разработка информационно-аналитической системы для вузовских центров дополнительного образования.//Сборник научных трудов XIV международной научно-практической конференции «Системный анализ в проектировании и управлении» - г. Санкт-Петербург, 2010г., С.277-279.

2.*Виштак О.В., Штырова И.А.* Структура информационно-аналитической системы вузовского центра дополнительного образования.//Сборник материалов III Международной научно-практической конференции «Объектные системы – 2011» - г. Ростов-на-Дону, 2011г., С.119-122.

3.*Гвоздева Т.В., Баллод Б.А.* Проектирование информационных систем. – М.**:** Феникс, 2009г.

05.17.08

П.П. Юрыгин, И.С. Гуданов, Г.М. Гончаров, А.А. Ломов

Ярославский государственный технический университет,
машиностроительный факультет,
кафедра технологических машин и оборудования
Ярославль, yuryginpp@gmail.com

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СОЭКСТРУЗИИ ДЛИННОМЕРНЫХ КОЛЬЦЕВЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ РЕЗИНОВЫХ СМЕСЕЙ

Статья посвящена исследованию течения резиновых смесей в цилиндрических каналах головок соэкструзионных агрегатов применительно к процессу наложения кабельной изоляции. В работе представлена математическая модель течения нескольких вязкоупругих жидкостей в кольцевых каналах с учетом деформирования границы раздела материалов.

Ключевые слова: *математическая модель, соэкструзия, вязкоупругая жидкость, кабельная изоляция, резиновая смесь*.

С каждым годом в мире появляется все большее количество продукции из полимерных материалов, находящих в нашей жизни самое разнообразное применение. Особую группу при этом составляют длинномерные комбинированные изделия, где для повышения конкурентоспособности и качества выпускаемой продукции часто требуется придание иногда совершенно противоположных свойств одному изделию.

Для решения данной задачи часто используется процесс соэкструзии, в ходе которого осуществляется стратифицированное (слоистое) течение двух и более полимерных материалов в единой мультиплексной формующей головке результатом которого является получение высококачественной многослойной заготовки [1].

Так, одной из областей применения соэкструзии является кабельная промышленность. Производимая современными кабельными заводами изоляция отличается многообразием конструктивных форм и материальным исполнением. Широкое применение, например, находит многослойная обкладка токопроводящих жил различными резиновыми смесями.

Следует отметить, что хотя опыт при экструзии трубчатых профилей пока еще является главной предпосылкой для изготовления качественной продукции, знание основных закономерностей и особенностей стратифицированного течения резиновых смесей позволит быстрее накапливать необходимый опыт и уменьшить вероятность появления ошибок при конструировании оснастки и отладке технологического процесса. Особый интерес также при рассмотрении данного вопроса представляет изучение механизма деформирования поверхности раздела материалов.

Однако даже в современных условиях бурно развивающихся компьютерных технологий и появления мощных программных средств моделирование данного процесса считается затруднительным. Положение граничной поверхности является функцией множества параметров, имеющих взаимное влияние. И абстрагирование хотя бы от одного из них при моделировании может внести качественные изменения в гидродинамику совместного потока.

Рассмотрим стратифицированное неизотермическое течение двух вязкоупругих жидкостей в цилиндрических каналах (рис. 1).

Стратифицированное течение на начальном участке канала характеризуется наличием трёх компонент скорости (v_x, v_y, v_z), а также перестройкой поверхности раздела совместно текущих жидкостей с разными расходами и реологическими свойствами.

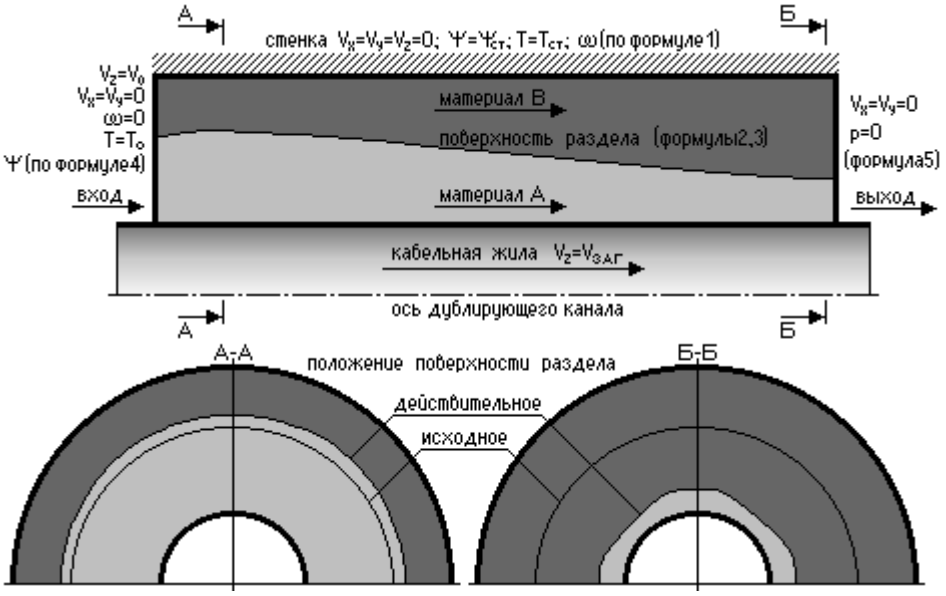


Рис. 1 - Расчетная схема течения материалов в цилиндрическом канале

Для анализа такого течения необходимо решить систему уравнений сохранения совместно с реологическими уравнениями состояния для каждой жидкости с учётом условий на границах канала и поверхности раздела [2]:

Примем следующие допущения:

- течение установившееся;
- несжимаемые расплавы при течении не смешиваются, а проскальзывание между ними отсутствует;
- плотности жидкостей близки, отсутствует эффект плавучести;
- в силу большой вязкости массовые и инерционные силы малы по сравнению с силами внутреннего трения;
- вектор теплового потока определяется по закону Фурье.

Граничные условия на твёрдых стенках канала:

$$v_x = v_y = v_z = 0;\ T = T_{ст};\ \omega = -\left[\frac{3\left(\psi_{OL,OP,OS} - \psi_{L,P,S}\right)}{r\,n^2\,\rho} + \frac{\omega_{OL,OP,OS}}{2}\right], \qquad (1)$$

где n – расстояние по нормали к стенке от ближайшей к стенке узловой точки O до её проекции S на стенку (рис. 2); ψ – функция тока; r – расстояние от оси потока до проекции точки на стенке L, P, S.

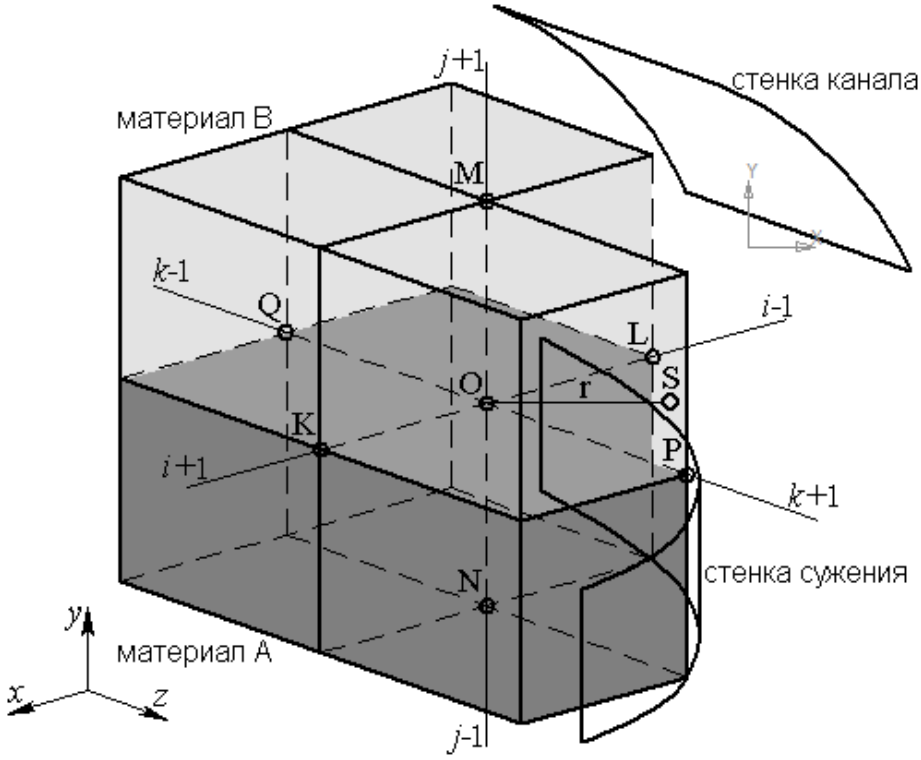


Рис. 2 – Часть расчётной области

Граничные условия для межфазной поверхности контакта:

- кинематическое условие (отсутствие проскальзывания материалов относительно друг друга на границе раздела)

$$\begin{cases} v^A n^A = v^B n^B = v_\Sigma n^\Sigma = 0; \\ t^A v^A = t^B v^B; \\ t^B v^A = t^A v^B; \end{cases} \quad (2)$$

- динамическое условие (свободное деформирование границы раздела по вязкоупругому механизму)

$$\begin{cases} t^A \sigma^A = t^B \sigma^B; \\ t^B \sigma^A = t^A \sigma^B; \\ \sigma^A n^\Sigma = \sigma^B n^\Sigma = 0, \end{cases} \quad (3)$$

где n^A, n^B, n^Σ – нормаль к поверхностям материала A, B и поверхности раздела соответственно; t^A, t^B – касательная к поверхностям материала A, B; σ^A, σ^B – нормальные напряжения со стороны первого и второго материала.

Граничные условия на входе в питающие каналы:

$$v_x^A = 0;\ v_y^A = 0;\ v_z^A = v_0^A;\ \omega = 0;\ T = T_0;\ \psi = \frac{1}{2}\rho v_0 \left(x^2 + z^2\right). \quad (4.1)$$

$$v_x^B = 0;\ v_y^B = 0;\ v_z^B = v_0^B;\ \omega = 0;\ T = T_0;\ \psi = \frac{1}{2}\rho v_0 \left(y^2 + z^2\right). \quad (4.2)$$

Граничные условия на выходе из дублирующего канала:

$$\frac{\partial \psi}{\partial z} = 0;\ \frac{\partial \omega}{\partial z} = 0;\ \frac{\partial v_z}{\partial z} = 0;\ v_x = 0;\ v_y = 0;\ \frac{\partial T}{\partial z} = 0. \quad (5)$$

В рамках указанных допущений стратифицированное течение описывается системой уравнений сохранения.

В качестве реологического уравнения состояния используем модель Максвелла с верхними конвективными членами [3], которую в декартовой прямоугольной системе координат можно представить в следующей форме:

$$\mathrm{T} = \mathrm{T}_1 + \mathrm{T}_2;\ \overset{\nabla}{\mathrm{T}}_1 = \frac{D\mathrm{T}_1}{Dt} + \mathrm{T}_1 \cdot \nabla v^T - \mathrm{T}_1 \cdot \nabla v;\ \mathrm{T}_1 + \lambda \overset{\nabla}{\mathrm{T}}_1 = 2\eta_1 D;\ \mathrm{T}_2 = 0, \qquad (6)$$

где ∇ – символ, ставящийся над верхней конвективной производной; $\lambda = \eta/G$ – время релаксации, показывающее, что при прекращении движения напряжение сдвига уменьшается как $\exp(-t/\lambda)$.

Запишем систему уравнений сохранения для неизотермического трёхмерного течения в компонентной форме:

- уравнение неразрывности

$$\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = 0; \qquad (7)$$

- уравнение движения

$$\rho\left(\frac{\partial v_x}{\partial t} + v_x\frac{\partial v_x}{\partial x} + v_y\frac{\partial v_x}{\partial y} + v_z\frac{\partial v_x}{\partial z}\right) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z};$$

$$\rho\left(\frac{\partial v_y}{\partial t} + v_x\frac{\partial v_y}{\partial x} + v_y\frac{\partial v_y}{\partial y} + v_z\frac{\partial v_y}{\partial z}\right) = -\frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z}; \qquad (8)$$

$$\rho\left(\frac{\partial v_z}{\partial t} + v_x\frac{\partial v_z}{\partial x} + v_y\frac{\partial v_z}{\partial y} + v_z\frac{\partial v_z}{\partial z}\right) = -\frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z};$$

- уравнение энергии

$$\rho c\left(v_x\frac{\partial T}{\partial x} + v_y\frac{\partial T}{\partial y} + v_z\frac{\partial T}{\partial z}\right) = k\left[\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}\right] + \Phi. \qquad (9)$$

Для реологического закона компоненты тензора напряжений выражаются через компоненты тензора скоростей деформации в виде

$$\tau_{xx} = 2\eta\frac{\partial v_x}{\partial x};\ \tau_{yy} = 2\eta\frac{\partial v_y}{\partial y};\ \tau_{zz} = 2\eta\frac{\partial v_z}{\partial z}; \qquad (10.1)$$

$$\tau_{xy} = \tau_{yx} = \eta\left(\frac{\partial v_x}{\partial y} + \frac{\partial v_y}{\partial x}\right);\ \tau_{xz} = \tau_{zx} = \eta\left(\frac{\partial v_x}{\partial z} + \frac{\partial v_z}{\partial x}\right);\ \tau_{yz} = \tau_{zy} = \eta\left(\frac{\partial v_y}{\partial z} + \frac{\partial v_z}{\partial y}\right). \qquad (10.2)$$

Вязкость жидкости зависит как от скорости деформации, так и от температуры:

$$\eta\left(\frac{I_2}{2}, T\right) = \mu_0\left(\frac{I_2}{2}\right)^{\frac{n-1}{2}} \exp\left[-\beta\left(T - T_0\right)\right]. \qquad (11)$$

В уравнениях (7)-(11): v_x, v_y, v_z – компоненты вектора скорости; τ_{ij} ($i,j=x,y,z$) – компоненты тензора напряжений; c – удельная теплоёмкость; k – коэффициент теплопроводности; $\eta(I_2/2,T)$ – эффективная вязкость жидкости; Ф – функция диссипации; β – температурный коэффициент вязкости; T – температура (T_0=273 K).

Выражение для I_2 и Ф записываются следующим образом:

$$I_2 = 4\left[\left(\frac{\partial v_x}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial v_y}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial v_z}{\partial z}\right)^2\right] + \\ + \left(\frac{\partial v_x}{\partial y} + \frac{\partial v_y}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial v_x}{\partial z} + \frac{\partial v_z}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial v_y}{\partial z} + \frac{\partial v_z}{\partial y}\right)^2; \quad (12)$$

$$\Phi = \tau_{xx}\frac{\partial v_x}{\partial x} + \tau_{yy}\frac{\partial v_y}{\partial y} + \tau_{zz}\frac{\partial v_z}{\partial z} + \\ + \tau_{xy}\left(\frac{\partial v_x}{\partial y} + \frac{\partial v_y}{\partial x}\right) + \tau_{xz}\left(\frac{\partial v_x}{\partial z} + \frac{\partial v_z}{\partial x}\right) + \tau_{yz}\left(\frac{\partial v_y}{\partial z} + \frac{\partial v_z}{\partial y}\right). \quad (13)$$

Таким образом, представленная в данной работе математическая модель стратифицированного течения вязкоупругих жидкостей в цилиндрических каналах имеет неоспоримую важность при исследовании процесса соэкструзии в ходе наложения кабельной изоляции. Разработанная модель дает возможность в дальнейшем реализовать численный расчет соэкструзионного оборудования. Целью подобных численных исследований может стать нахождение оптимальных конструкций формующей оснастки для повышения качества той или иной продукции, подбор рациональных технологических режимов рассматриваемого процесса, а также выявление и предупреждение причин деформирование граничной поверхности раздела материалов.

Список литературы

1. *Раувендааль К.* Выявление и устранение проблем в экструзии. – С-Пб.: Профессия, 2008. – 329 с.
2. *Янков В.И.* Течение полимеров в отверстиях фильер. Теория, расчёт, практика / В.И. Янков, И.О. Глот, Н.М. Труфанова, Н.В. Шакиров. – М.; Ижевск: НИЦ РХД: Институт компьютерных исследований, 2010. – 366 с.
3. *Юрыгин П.П.* Обзор вязкоупругих реологических моделей течения полимеров / П.П. Юрыгин, И.С. Гуданов, Г.М. Гончаров, А.А. Ломов, Ю.Б. Лаврентьев // Научно-технический вестник Поволжья, 2012. – №6. – С. 444-451.

05.17.08

П.П. Юрыгин, И.С. Гуданов, Г.М. Гончаров, А.А. Ломов

Ярославский государственный технический университет,
машиностроительный факультет,
кафедра технологических машин и оборудования
Ярославль, yuryginpp@gmail.com

МЕТОД ЧИСЛЕННОГО РАСЧЕТА СТРАТИФИЦИРОВАННОГО ТЕЧЕНИЯ ВЯЗКОУПРУГИХ ЖИДКОСТЕЙ В ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ КАНАЛАХ

В данной работе представлен метод численного расчета соэкструзионного течения вязкоупругих жидкостей в цилиндрических каналах. Приведен результат расчета простого формующего кольцевого канала с движущейся внутренней стенкой.

Ключевые слова: *метод расчета, стратифицированное течение, вязкоупругая жидкость, кабельная изоляция, резиновая смесь*.

В современной кабельной промышленности широкое распространение получил процесс стратифицированного течения вязкоупругих жидкостей в единой формующей головке, результатом которого является получение высококачественных многослойных изделий. Данный метод часто применяется при наложении многослойной изоляции на кабельную жилу (рис. 1) и ввиду предъявления высоких требований к подобной продукции требует учёта целого ряда факторов, таких как давления, создаваемые экструдерами, линейная скорость движения кабельной жилы, температура подогрева корпуса кабельной головки и расплавов на выходах из экструдеров, геометрические размеры и конфигурация каналов, реологические и теплофизические свойства экструдируемых материалов [1].

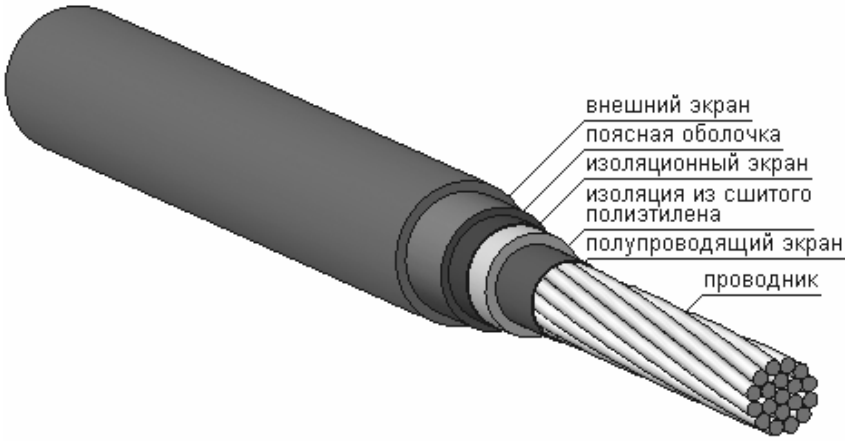


Рис. 1 – Кабель с многослойной изоляцией проводника

Большинство производителей кабельной продукции применяют технологические режимы, определённые лишь на основе собственного практического опыта и рекомендаций производителей экструзионного оборудования, что делает наладку выпуска новой продукции весьма дорогостоящей и долгосрочной. Это вызывает необходимость развития теоретических исследований основ процесса соэкструзии. Такой подход позволит как снизить стоимость пуско-наладочных работ для ввода нового ассортимента продукции, так и повысить качество выпускаемой продукции за счет учета ряда характеристик, которые были недоступны при ином подходе. Так, например, появляется возможность учета деформирования граничной поверхности раздела материалов и уменьшения очагов локального перегрева в заготовках.

Таким образом, целью данной работы является разработка метода численного расчета процесса стратифицированного течения вязкоупругих жидкостей в цилиндрических каналах.

Разработанная ранее математическая модель традиционно включает в себя уравнения неразрывности, движения, энергии и замыкается реологическим уравнением Максвелла с верхними конвективными членами с учетом ряда принимаемых допущений и граничных условий. Допускаем, что материал является несжимаемым, течение происходит в ламинарном режиме, а сам процесс принят неизотермическим. В качестве граничных условий принимаются равенство нулю составляющих скорости на стенках, отсутствие проскальзывания материалов относительно друг друга на границе раздела, свободное деформирование межфазной поверхности по вязкоупругому механизму, а также заданные гидродинамические параметры на входной и выходной поверхностях расчетной области, соответствующие режимным условиям моделируемого процесса.

При решении приведённых уравнений переноса, записанных в динамических переменных (давление – скорость), возникают трудности по удовлетворению граничным условиям (в частности, по давлению). Кроме того, при численных решениях в переменных *p-v* требуются специальные приёмы для обеспечения условия несжимаемости. Поэтому для решения гидродинамической задачи соэкструзии уравнения сохранения запишем в переменных функцию тока ψ и вихрь ω, связанных с компонентами скорости следующими соотношениями:

$$v_x = \frac{\partial \psi_z}{\partial y} - \frac{\partial \psi_y}{\partial z};\ v_y = \frac{\partial \psi_x}{\partial z} - \frac{\partial \psi_z}{\partial x};\ v_z = \frac{\partial \psi_y}{\partial x} - \frac{\partial \psi_x}{\partial y}. \tag{1}$$

$$\omega_x = -\frac{\partial^2 \psi_x}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 \psi_x}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 \psi_x}{\partial z^2};\ \omega_y = -\frac{\partial^2 \psi_y}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 \psi_y}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 \psi_y}{\partial z^2};$$

$$\omega_z = -\frac{\partial^2 \psi_z}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 \psi_z}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 \psi_z}{\partial z^2}. \tag{2}$$

Для этих новых переменных основные уравнения, записанные в дивергентной форме, имеют вид

$$\frac{\partial^2 \psi_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi_y}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \psi_z}{\partial z^2} + \omega_x + \omega_y + \omega_z = 0; \tag{3}$$

$$\frac{\partial \omega_x}{\partial t} + \frac{\partial (v_x \omega_x)}{\partial x} + \frac{\partial (v_y \omega_x)}{\partial y} + \frac{\partial (v_z \omega_x)}{\partial z} = -\frac{1}{\mathrm{Re}}\left(\frac{\partial^2 \tau_{xx}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \tau_{yx}}{\partial x \partial y} + \frac{\partial^2 \tau_{zx}}{\partial x \partial z} \right);$$

$$\frac{\partial \omega_y}{\partial t} + \frac{\partial (v_x \omega_y)}{\partial x} + \frac{\partial (v_y \omega_y)}{\partial y} + \frac{\partial (v_z \omega_y)}{\partial z} = -\frac{1}{\mathrm{Re}}\left(\frac{\partial^2 \tau_{xy}}{\partial x \partial y} + \frac{\partial^2 \tau_{yy}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \tau_{zy}}{\partial y \partial z} \right); \tag{4}$$

$$\frac{\partial \omega_z}{\partial t} + \frac{\partial (v_x \omega_z)}{\partial x} + \frac{\partial (v_y \omega_z)}{\partial y} + \frac{\partial (v_z \omega_z)}{\partial z} = -\frac{1}{\mathrm{Re}}\left(\frac{\partial^2 \tau_{xz}}{\partial x \partial z} + \frac{\partial^2 \tau_{yz}}{\partial y \partial z} + \frac{\partial^2 \tau_{zz}}{\partial z^2} \right).$$

$$\rho c \left(\frac{\partial \psi_z}{\partial x \partial y} \frac{\partial T}{} - \frac{\partial \psi_y}{\partial x \partial z} \frac{\partial T}{} + \frac{\partial \psi_x}{\partial y \partial z} \frac{\partial T}{} - \frac{\partial \psi_z}{\partial x \partial y} \frac{\partial T}{} + \frac{\partial \psi_y}{\partial x \partial z} \frac{\partial T}{} - \frac{\partial \psi_x}{\partial y \partial z} \frac{\partial T}{} \right) =$$

$$= k\left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + \tau_{xx}\omega_x + \tau_{yy}\omega_y + \tau_{zz}\omega_z +$$

$$+ \tau_{xy}\left[\left(\frac{\partial^2 \psi_z}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 \psi_y}{\partial y \partial z} \right) + \left(\frac{\partial^2 \psi_x}{\partial x \partial z} - \frac{\partial^2 \psi_z}{\partial x^2} \right) \right] + \tau_{xz}\left[\left(\frac{\partial^2 \psi_z}{\partial y \partial z} - \frac{\partial^2 \psi_y}{\partial z^2} \right) + \left(\frac{\partial^2 \psi_y}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 \psi_x}{\partial x \partial y} \right) \right] + \tag{5}$$

$$+ \tau_{yz}\left[\left(\frac{\partial^2 \psi_x}{\partial z^2} - \frac{\partial^2 \psi_z}{\partial x \partial z} \right) + \left(\frac{\partial^2 \psi_y}{\partial x \partial y} - \frac{\partial^2 \psi_x}{\partial y^2} \right) \right].$$

Для анализа стратифицированного течения вязкоупругих резиновых смесей в области стагнации воспользуемся моделью Максвелла с верхними конвективными членами. В рассматриваемом случае модифицированное реологическое уравнение состояния записывается в виде:

$$\tau_{xx} + \mathrm{We}_{эф}\left[\begin{array}{l}\dfrac{\partial \tau_{xx}}{\partial t} + \dfrac{\partial \tau_{xx}}{\partial x}\left(\dfrac{\partial^2 \psi_z}{\partial x \partial y} - \dfrac{\partial^2 \psi_y}{\partial x \partial z}\right) + \dfrac{\partial \tau_{xx}}{\partial y}\left(\dfrac{\partial^2 \psi_x}{\partial y \partial z} - \dfrac{\partial^2 \psi_z}{\partial x \partial y}\right) + \dfrac{\partial \tau_{xx}}{\partial z}\left(\dfrac{\partial^2 \psi_y}{\partial x \partial z} - \dfrac{\partial^2 \psi_x}{\partial y \partial z}\right) - \\ -2\tau_{xx}\left(\dfrac{\partial^2 \psi_z}{\partial x \partial y} - \dfrac{\partial^2 \psi_y}{\partial x \partial z}\right) - 2\tau_{xy}\left(\dfrac{\partial^2 \psi_z}{\partial y^2} - \dfrac{\partial^2 \psi_y}{\partial y \partial z}\right) - 2\tau_{xz}\left(\dfrac{\partial^2 \psi_z}{\partial x \partial y} - \dfrac{\partial^2 \psi_y}{\partial z^2}\right)\end{array}\right] = 2H\left(\frac{\partial^2 \psi_z}{\partial x \partial y} - \frac{\partial^2 \psi_y}{\partial x \partial z}\right); \quad (6)$$

$$\tau_{yy} + \mathrm{We}_{эф}\left[\begin{array}{l}\dfrac{\partial \tau_{yy}}{\partial t} + \dfrac{\partial \tau_{yy}}{\partial x}\left(\dfrac{\partial^2 \psi_z}{\partial x \partial y} - \dfrac{\partial^2 \psi_y}{\partial x \partial z}\right) + \dfrac{\partial \tau_{yy}}{\partial y}\left(\dfrac{\partial^2 \psi_x}{\partial y \partial z} - \dfrac{\partial^2 \psi_z}{\partial x \partial y}\right) + \dfrac{\partial \tau_{yy}}{\partial z}\left(\dfrac{\partial^2 \psi_y}{\partial x \partial z} - \dfrac{\partial^2 \psi_x}{\partial y \partial z}\right) - \\ -2\tau_{yy}\left(\dfrac{\partial^2 \psi_x}{\partial y \partial z} - \dfrac{\partial^2 \psi_z}{\partial x^2}\right) - 2\tau_{xy}\left(\dfrac{\partial^2 \psi_x}{\partial y \partial z} - \dfrac{\partial^2 \psi_z}{\partial x \partial y}\right) - 2\tau_{yz}\left(\dfrac{\partial^2 \psi_x}{\partial z^2} - \dfrac{\partial^2 \psi_z}{\partial x \partial z}\right)\end{array}\right] = 2H\left(\frac{\partial^2 \psi_x}{\partial y \partial z} - \frac{\partial^2 \psi_z}{\partial x \partial y}\right); \quad (7)$$

$$\tau_{zz} + \mathrm{We}_{эф}\left[\begin{array}{l}\dfrac{\partial \tau_{zz}}{\partial t} + \dfrac{\partial \tau_{zz}}{\partial x}\left(\dfrac{\partial^2 \psi_z}{\partial x \partial y} - \dfrac{\partial^2 \psi_y}{\partial x \partial z}\right) + \dfrac{\partial \tau_{zz}}{\partial y}\left(\dfrac{\partial^2 \psi_z}{\partial x \partial z} - \dfrac{\partial^2 \psi_y}{\partial x \partial z}\right) + \dfrac{\partial \tau_{zz}}{\partial z}\left(\dfrac{\partial^2 \psi_z}{\partial x \partial y} - \dfrac{\partial^2 \psi_y}{\partial x \partial z}\right) - \\ -2\tau_{zz}\left(\dfrac{\partial^2 \psi_y}{\partial x^2} - \dfrac{\partial^2 \psi_x}{\partial x \partial y}\right) - 2\tau_{xz}\left(\dfrac{\partial^2 \psi_y}{\partial x \partial y} - \dfrac{\partial^2 \psi_x}{\partial y^2}\right) - 2\tau_{yz}\left(\dfrac{\partial^2 \psi_y}{\partial x \partial z} - \dfrac{\partial^2 \psi_x}{\partial y \partial z}\right)\end{array}\right] = 2H\left(\frac{\partial^2 \psi_y}{\partial x \partial z} - \frac{\partial^2 \psi_x}{\partial y \partial z}\right); \quad (8)$$

$$\tau_{xy} + \mathrm{We}_{эф}\left[\begin{array}{l}\dfrac{\partial \tau_{xy}}{\partial t} + \dfrac{\partial \tau_{xy}}{\partial x}\left(\dfrac{\partial^2 \psi_z}{\partial x \partial y} - \dfrac{\partial^2 \psi_y}{\partial x \partial z}\right) + \dfrac{\partial \tau_{xy}}{\partial y}\left(\dfrac{\partial^2 \psi_z}{\partial x \partial y} - \dfrac{\partial^2 \psi_y}{\partial x \partial z}\right) + \dfrac{\partial \tau_{xy}}{\partial z}\left(\dfrac{\partial^2 \psi_z}{\partial x \partial y} - \dfrac{\partial^2 \psi_y}{\partial x \partial z}\right) - \\ -2\tau_{xx}\left(\dfrac{\partial^2 \psi_x}{\partial y \partial z} - \dfrac{\partial^2 \psi_z}{\partial x \partial y}\right) - 2\tau_{yy}\left(\dfrac{\partial^2 \psi_z}{\partial y^2} - \dfrac{\partial^2 \psi_y}{\partial y \partial z}\right)\end{array}\right] = 2H\left[\left(\frac{\partial^2 \psi_z}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 \psi_y}{\partial y \partial z}\right) + \left(\frac{\partial^2 \psi_x}{\partial x \partial z} - \frac{\partial^2 \psi_z}{\partial x^2}\right)\right]; \quad (9)$$

$$\tau_{yz} + \mathrm{We}_{эф}\left[\begin{array}{l}\dfrac{\partial \tau_{yz}}{\partial t} + \dfrac{\partial \tau_{yz}}{\partial x}\left(\dfrac{\partial^2 \psi_z}{\partial x \partial y} - \dfrac{\partial^2 \psi_y}{\partial x \partial z}\right) + \dfrac{\partial \tau_{yz}}{\partial y}\left(\dfrac{\partial^2 \psi_z}{\partial x \partial y} - \dfrac{\partial^2 \psi_y}{\partial x \partial z}\right) + \dfrac{\partial \tau_{yz}}{\partial z}\left(\dfrac{\partial^2 \psi_z}{\partial x \partial y} - \dfrac{\partial^2 \psi_y}{\partial x \partial z}\right) - \\ -2\tau_{yy}\left(\dfrac{\partial^2 \psi_y}{\partial x \partial z} - \dfrac{\partial^2 \psi_x}{\partial y \partial y}\right) - 2\tau_{zz}\left(\dfrac{\partial^2 \psi_x}{\partial z^2} - \dfrac{\partial^2 \psi_z}{\partial x \partial z}\right)\end{array}\right] = 2H\left[\left(\frac{\partial^2 \psi_y}{\partial x \partial y} - \frac{\partial^2 \psi_x}{\partial y^2}\right) + \left(\frac{\partial^2 \psi_x}{\partial z^2} - \frac{\partial^2 \psi_z}{\partial x \partial z}\right)\right]; \quad (10)$$

$$\tau_{xz} + \mathrm{We}_{эф}\left[\begin{array}{l}\dfrac{\partial \tau_{xz}}{\partial t} + \dfrac{\partial \tau_{xz}}{\partial x}\left(\dfrac{\partial^2 \psi_z}{\partial x \partial y} - \dfrac{\partial^2 \psi_y}{\partial x \partial z}\right) + \dfrac{\partial \tau_{xz}}{\partial y}\left(\dfrac{\partial^2 \psi_z}{\partial x \partial y} - \dfrac{\partial^2 \psi_y}{\partial x \partial z}\right) + \dfrac{\partial \tau_{xz}}{\partial z}\left(\dfrac{\partial^2 \psi_z}{\partial x \partial y} - \dfrac{\partial^2 \psi_y}{\partial x \partial z}\right) - \\ -2\tau_{zz}\left(\dfrac{\partial^2 \psi_z}{\partial x \partial y} - \dfrac{\partial^2 \psi_y}{\partial x \partial z}\right) - 2\tau_{xx}\left(\dfrac{\partial^2 \psi_y}{\partial x^2} - \dfrac{\partial^2 \psi_x}{\partial x \partial y}\right)\end{array}\right] = \quad (11)$$

$$= 2H\left[\left(\frac{\partial^2 \psi_y}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 \psi_x}{\partial x \partial y}\right) + \left(\frac{\partial^2 \psi_z}{\partial y \partial z} - \frac{\partial^2 \psi_y}{\partial z^2}\right)\right].$$

Система уравнений (3)-(11) является существенно нелинейной. Эта нелинейность обусловлена наличием первых производных в уравнениях, появляющихся при учёте конвективных членов, а также зависимостью коэффициентов эллиптических уравнений (например η, Ф) от искомых функций Ψ и T. Решение системы осложняется высокой степенью связанности задачи. Так, переменная Ψ входит во все уравнения, ω – в три уравнения, T через вязкость η появляется в двух уравнениях. Таким образом, появляется необходимость одновременного решения всех уравнений.

Предлагаемый к численной реализации метод основан на конечно-разностной аппроксимации дифференциальных уравнений [2]. Преобразованная система исходных уравнений (3)-(11), замкнутая начальными и граничными условиями, решается по явной схеме.

С целью повышения устойчивости итерационного алгоритма для аппроксимации верхних конвективных членов уравнений использовались разности, ориентированные «против потока».

$$\frac{\partial (v_x \varphi)_{i,j,k}}{\partial x} = \begin{cases} v_{\mathrm{K}} = \dfrac{(v_x \varphi)_{i,j,k} - (v_x \varphi)_{i+1,j,k}}{x_{i+1} - x_i}, v_x < 0; \\ v_{\mathrm{L}} = \dfrac{(v_x \varphi)_{i,j,k} - (v_x \varphi)_{i-1,j,k}}{x_i - x_{i-1}}, v_x > 0; \end{cases} \quad (12.1)$$

$$\frac{\partial (v_y \varphi)_{i,j,k}}{\partial y} = \begin{cases} v_{\mathrm{M}} = \dfrac{(v_y \varphi)_{i,j,k} - (v_y \varphi)_{i,j+1,k}}{y_{j+1} - y_j}, v_y < 0; \\ v_{\mathrm{N}} = \dfrac{(v_y \varphi)_{i,j,k} - (v_y \varphi)_{i,j-1,k}}{y_j - y_{j-1}}, v_y > 0; \end{cases} \quad (12.2)$$

$$\frac{\partial (v_z \varphi)_{i,j,k}}{\partial z} = \begin{cases} v_{\mathrm{P}} = \dfrac{(v_z \varphi)_{i,j,k} - (v_z \varphi)_{i,j,k+1}}{z_{k+1} - z_k}, v_z < 0; \\ v_{\mathrm{Q}} = \dfrac{(v_z \varphi)_{i,j,k} - (v_z \varphi)_{i,j,k-1}}{z_k - z_{k-1}}, v_z > 0; \end{cases} \quad (12.3)$$

$$\omega^n_{\mathrm{K}} = \begin{cases} \omega^n_{i,j,k}, v_{\mathrm{K}} > 0; \\ \omega^n_{i+1,j,k}, v_{\mathrm{K}} < 0; \end{cases} (13.1) \quad \omega^n_{\mathrm{L}} = \begin{cases} \omega^n_{i-1,j,k}, v_{\mathrm{L}} > 0; \\ \omega^n_{i,j,k}, v_{\mathrm{L}} < 0; \end{cases} (13.2) \quad \omega^n_{\mathrm{M}} = \begin{cases} \omega^n_{i,j,k}, v_{\mathrm{M}} > 0; \\ \omega^n_{i,j+1,k}, v_{\mathrm{M}} < 0; \end{cases} (13.3)$$

$$\omega^n_{\mathrm{N}} = \begin{cases} \omega^n_{i,j-1,k}, v_{\mathrm{N}} > 0; \\ \omega^n_{i,j,k}, v_{\mathrm{N}} < 0; \end{cases} (13.4) \quad \omega^n_{\mathrm{P}} = \begin{cases} \omega^n_{i,j,k}, v_{\mathrm{P}} > 0; \\ \omega^n_{i,j,k+1}, v_{\mathrm{P}} < 0; \end{cases} (13.5) \quad \omega^n_{\mathrm{Q}} = \begin{cases} \omega^n_{i,j,k-1}, v_{\mathrm{Q}} > 0; \\ \omega^n_{i,j,k}, v_{\mathrm{Q}} < 0. \end{cases} (13.6)$$

где $\varphi = \psi, \omega, T$.

Уравнение Пуассона (3) для функции тока решалось методом переменных направлений [3], что при подборе оптимального итерационного параметра позволило существенно увеличить скорость сходимости. Вводя производную по времени для функции тока в уравнение (3) и затем раскладывая её, можно записать

$$\psi^{k+\frac{1}{2}}_{y_{i,j,k}}\left(1+\frac{\Delta\Omega}{\Delta y^2}\right)-\psi^{k+\frac{1}{2}}_{y_{i,j+1,k}}\left(\frac{\Delta\Omega}{2\Delta y^2}-\frac{\Delta\Omega}{4y_j\Delta y}\right)-\psi^{k+\frac{1}{2}}_{y_{i,j-1,k}}\left(\frac{\Delta\Omega}{2\Delta y^2}+\frac{\Delta\Omega}{4y_j\Delta y}\right)=$$
$$=\psi^{k}_{x_{i,j,k}}+\frac{\Delta\Omega}{2\Delta x^2}\left(\psi^{k}_{x_{i+1,j,k}}-2\psi^{k}_{x_{i,j,k}}+\psi^{k}_{x_{i-1,j,k}}\right)-\frac{\Delta\Omega}{2}x_i\omega^{n}_{x_{i,j,k}}; \quad (14.1)$$

$$\psi^{k+1}_{x_{i,j,k}}\left(1+\frac{\Delta\Omega}{2\Delta x^2}\right)-\psi^{k+1}_{x_{i+1,j,k}}\frac{\Delta\Omega}{2\Delta x^2}-\psi^{k+1}_{x_{i-1,j,k}}-\frac{\Delta\Omega}{2\Delta x^2}=$$
$$=\psi^{k+\frac{1}{2}}_{y_{i,j,k}}+\frac{\Delta\Omega}{2\Delta y}\left(\psi^{k+\frac{1}{2}}_{y_{i,j+1,k}}-2\psi^{k+\frac{1}{2}}_{y_{i,j,k}}+\psi^{k+\frac{1}{2}}_{y_{i,j-1,k}}\right)-\frac{\Delta\Omega}{2}y_j\omega^{n}_{y_{i,j,k}}; \quad (14.2)$$

$$\psi^{k+\frac{1}{2}}_{z_{i,j,k}}\left(1+\frac{\Delta\Omega}{\Delta z^2}\right)-\psi^{k+\frac{1}{2}}_{z_{i,j,k+1}}\left(\frac{\Delta\Omega}{2\Delta z^2}-\frac{\Delta\Omega}{4z_k\Delta z}\right)-\psi^{k+\frac{1}{2}}_{z_{i,j,k-1}}\left(\frac{\Delta\Omega}{2\Delta z^2}+\frac{\Delta\Omega}{4z_k\Delta z}\right)=$$
$$=\psi^{k}_{y_{i,j,k}}+\frac{\Delta\Omega}{2\Delta y^2}\left(\psi^{k}_{y_{i,j+1,k}}-2\psi^{k}_{y_{i,j,k}}+\psi^{k}_{y_{i,j-1,k}}\right)-\frac{\Delta\Omega}{2}y_j\omega^{n}_{y_{i,j,k}}; \quad (15.1)$$

$$\psi^{k+1}_{y_{i,j,k}}\left(1+\frac{\Delta\Omega}{2\Delta y^2}\right)-\psi^{k+1}_{y_{i,j+1,k}}\frac{\Delta\Omega}{2\Delta y^2}-\psi^{k+1}_{y_{i,j-1,k}}-\frac{\Delta\Omega}{2\Delta y^2}=$$
$$=\psi^{k+\frac{1}{2}}_{z_{i,j,k}}+\frac{\Delta\Omega}{2\Delta z}\left(\psi^{k+\frac{1}{2}}_{z_{i,j,k+1}}-2\psi^{k+\frac{1}{2}}_{z_{i,j,k}}+\psi^{k+\frac{1}{2}}_{z_{i,j,k-1}}\right)-\frac{\Delta\Omega}{2}z_k\omega^{n}_{z_{i,j,k}}; \quad (15.2)$$

$$\psi^{k+\frac{1}{2}}_{x_{i,j,k}}\left(1+\frac{\Delta\Omega}{\Delta x^2}\right)-\psi^{k+\frac{1}{2}}_{x_{i+1,j,k}}\left(\frac{\Delta\Omega}{2\Delta x^2}-\frac{\Delta\Omega}{4x_i\Delta x}\right)-\psi^{k+\frac{1}{2}}_{x_{i-1,j,k}}\left(\frac{\Delta\Omega}{2\Delta x^2}+\frac{\Delta\Omega}{4x_i\Delta x}\right)=$$
$$=\psi^{k}_{z_{i,j,k}}+\frac{\Delta\Omega}{2\Delta z^2}\left(\psi^{k}_{z_{i,j,k+1}}-2\psi^{k}_{z_{i,j,k}}+\psi^{k}_{z_{i,j,k-1}}\right)-\frac{\Delta\Omega}{2}z_k\omega^{n}_{z_{i,j,k}}; \quad (16.1)$$

$$\psi^{k+1}_{z_{i,j,k}}\left(1+\frac{\Delta\Omega}{2\Delta z^2}\right)-\psi^{k+1}_{z_{i,j,k+1}}\frac{\Delta\Omega}{2\Delta z^2}-\psi^{k+1}_{z_{i,j,k-1}}-\frac{\Delta\Omega}{2\Delta z^2}=$$
$$=\psi^{k+\frac{1}{2}}_{x_{i,j,k}}+\frac{\Delta\Omega}{2\Delta x}\left(\psi^{k+\frac{1}{2}}_{x_{i+1,j,k}}-2\psi^{k+\frac{1}{2}}_{x_{i,j,k}}+\psi^{k+\frac{1}{2}}_{x_{i-1,j,k}}\right)-\frac{\Delta\Omega}{2}x_i\omega^{n}_{x_{i,j,k}}. \quad (16.2)$$

Здесь $\Delta\Omega$ – итерационный параметр.

Система разностных уравнений (14)-(16) решается методом прогонки. Условия сходимости итерационного процесса при этом выполняются. Итерационный параметр $\Delta\Omega$ выбирается из условия минимального количества итераций, необходимого для получения сходящегося решения. Сходимость итерационного процесса контролировалась по следующему условию:

$$\frac{\left|\psi^{k+1}_{i,j,k}+\psi^{k}_{i,j,k}\right|}{\left|\psi^{k}_{i,j,k}\right|}<\varepsilon, \quad (17)$$

где ε – задаваемая точность итерационного процесса ($\varepsilon\leq10^{-3}$).

Решение полученной системы разностных уравнений (12)-(16), замкнутых начальными и граничными условиями, реализуется в соответствии со следующим алгоритмом:

1. На первом шаге по выражениям (6)-(11) определяются напряжения;
2. Вычисляются значения вихря по уравнению (4);
3. Из совместного решения уравнений (14)-(16) находится функция тока, а из выражения (1) – компоненты скорости.

Шаги 1-3 повторяются до получения стационарного решения. При этом об окончании процесса установления можно судить по первой разности нормальных напряжений, так как именно эта переменная устанавливается наиболее медленно.

Отметим, что хотя условная устойчивость рассмотренной в данной статье явной конечно-разностной схемы является ограничением в применении алгоритма для расчёта стратифицированного течения вязкоупругих жидкостей, другие существующие подходы являются менее выгодными, как с позиции генерации конечно-элементной сетки, так и времени расчёта, а используемая процедура расчёта в большей степени соответствует продолжительности переходных процессов в вязкоупругих жидкостях.

Типичным примером реализации предложенного математического инструмента может служить расчёт соэкструзии двух резиновых смесей через кольцевой канал с движущейся внутренней стенкой при помощи программно-вычислительного комплекса. Полученный результат в виде изоконтуров скорости (рис. 2) позволяет отследить динамику совместного потока. При этом в большей степени перераспределение скоростей характерно для начального и конечного участка области стратификации. Аналогичный характер изменения имеет и положение граничной поверхности. Так толщина слоя материала с большей вязкостью стабильна практически по всей длине канала, однако, за счёт изменения профиля скоростей, она увеличивается по направлению к выходу в среднем на 25%.

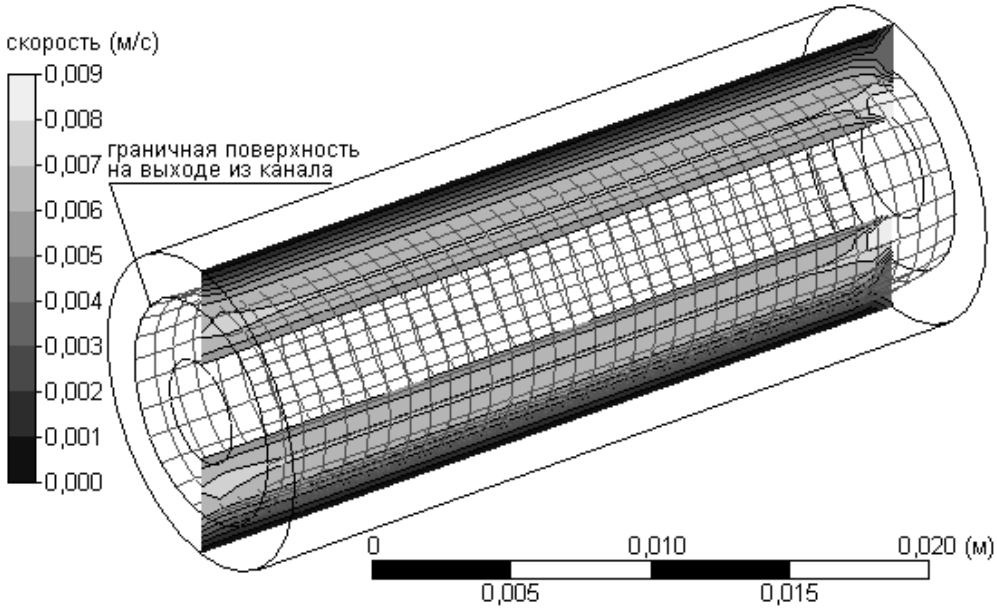


Рис. 2 – Распределение скоростей материалов в продольном сечении цилиндрического канала

Представленный метод численного расчета стратифицированного течения вязкоупругих жидкостей может найти применение как при исследовании самого процесса соэкструзии, так и при проектировании формующего оборудования перерабатывающих машин. Реализация метода при помощи программно-вычислительных комплексов позволяет расширить области поиска путей повышения качества агрегированных длинномерных изделий. За счет использования вязкоупругой модели течения полимерной жидкости появляется возможность учета влияния постэкструзионного разбухания на конечную форму экструдата.

Список литературы

1. *Хан Ч. Д.* Реология в процессах переработки полимеров. – М.: Химия, 1979. – 366 с.
2. *Самарский А. А.* Введение в численные методы. – М.: Наука, 1982. – 272 с.
3. *Роуч П.* Вычислительная гидродинамика. – М.: Мир, 1980. – 616 с.

АННОТАЦИИ
ABSTRACTS

В.К. Половняк
ТЕНДЕНЦИИ В РАЗВИТИИ ТЕХНОЛОГИЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ ИОНОВ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ

Ключевые слова: сточные воды, ионы тяжелых металлов, сорбенты, биотехнологии.

Рассмотрены разработки последних пяти лет исследователей по очистке сточных вод от ионов тяжелых металлов с использованием отходов агропромышленного комплекса, сорбционных и биосорбционных методов. Показано, что наиболее перспективным является комплексный подход на основе сочетания модифицированных сорбентов и биотехнологий.

V.K. Polovnyak
TECHNOLOGY TRENDS WASTEWATER TREATMENT OF HEAVY METAL IONS

Key words: sewage, heavy metals, absorbents, and biotechnology.

We consider the development of the last five years, researchers in wastewater treatment from heavy metal ions using agro-industrial waste, sorption and biosorbtsionnyh methods. It is shown that the most promising is a comprehensive approach based on a combination of modified sorbents and biotechnology.

Н.И. Большакова, Е.Б. Пименова
ГИБКАЯ БАЛКА НА ДВУХПАРАМЕТРИЧЕСКОМ УПРУГОМ ОСНОВАНИИ

Ключевые слова: аналитическое решение, упругая балка, двухпараметрическое основание, сосредоточенные реактивные силы.

Предложены приближенные аналитические решения задачи об упругой балке, лежащей на упругом двухпараметрическом основании. В отличие от известных подходов, в явном виде учтены сосредоточенные реактивные силы, возникающие на концах балки.

N.I. Bolshakova, E.B. Pimenova
A FLEXIBLE GIRDER ON A TWO-PARAMETER ELASTIC BASE

Keywords: the analytic solutions, an elastic girder, a two-parameter base, the reactive point forces.

In the paper the approximate analytic solutions for a problem of an elastic girder lying on a two-parameter elastic base are suggested. In contrast to well-known approaches the edge reactive point force had been taken into account in the explicit form.

И.Н. Бояршинова, М.М. Дробинин
СНИЖЕНИЕ УРОВНЯ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ИЗДЕЛИЯХ ИЗ ПОЛИМЕРОВ ПУТЕМ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА

Ключевые слова: оптимальное управление, целевая функция, задача термовязкоупругости, стеклующийся полимер.

Предлагаются постановка и методика решения задачи оптимального управления процессом охлаждения изделий из стеклующихся полимеров с целью снижения в них технологических остаточных напряжений, во многом предопределяющих эксплуатационные характеристики конструкций. В качестве целевой функции выбрана максимальная интенсивность остаточных технологических напряжений, для определения которых решается задача термовязкоупругости в конечно-элементной постановке. В результате решения поставленных задач показано, что применение к процессу охлаждения найденного оптимального управления позволяет снизить технологические остаточные напряжения на порядок по сравнению с охлаждением изделия без управления.

I.N. Boyarshinova, M.M. Drobinin
CONTROL OF VITRIFYING POLYMERS COOLING PROCESS OPTIMIZATION AIMED AT RESIDUAL STRESSES DECREASE

Keywords: optimal control, criterion function, thermoviscoelasticity problem, vitrifying polymer.

In this article problem of optimal vitrifying polymers cooling process control is analyzed, its solution methodology is suggested aiming to decrease technological residual stresses which predetermine major operating characteristics of the structures. Maximum intensity of technological residual stresses was chosen as criterion function. The thermoviscoelasticity problem in finite-elemental formulation is solved to determine technological residual stresses. The outcome of problem solving shows that optimal control application to vitrifying polymers cooling process leads to technological residual stresses decrease ten times more compared to vitrifying polymers cooling process without control.

В.В. Дружинин, Т.В. Алексюнина, В.С. Холушкин
ДЕЛЕНИЕ ЧИСЕЛ С ПОМОЩЬЮ ВЕКТОРА ПАСКАЛЯ
Ключевые слова: метод Паскаля, частное, остаток, структурная матрица.

Опираясь на функцию делимости Паскаля, введены два новых вектора натурального числа: антье-вектор и вектор делимости, а также структурная матрица числа. Предложен новый способ деления чисел с получением неполного (целого) частного и остатка, который в ряде случаев требует меньших операций, чем традиционный метод деления уголком.

V.V. Druzhinin, T.V. Aleksjunina, V.S. Holushkin
DIVISION OF NUMBERS WITH THE HELP OF VECTOR OF PASCAL
Key words: the method of Pascal, the quotient, the remainder, the parastrophic matrix.

Based upon the function of divisibility of Pascal two new vectors of divisibility of natural numbers are introduced: they are Antje vector and the vector of divisibility. The parastrophic matrix of number is also introduced. The new way of division of numbers is suggested. It's resulted in getting the incomplete (whole) remainder and the remainder that in some cases requires less actions than when the traditional method of division with the help of corner is used.

Р.Г. Куликов, А.А. Звягин
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧИ ОДНООСНОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ В РАМКАХ НЕЛИНЕЙНОЙ ТЕОРИИ УПРУГОСТИ
Ключевые слова: нелинейная теория упругости, параллельные вычисления, метод конечных элементов.

В работе рассматривается применение технологии параллельного программирования к решению краевых задач нелинейной теории упругости с использованием подхода, основанного на линеаризации вариационной постановки. Рассматривается построение конечномерного аналога с использованием метода конечных элементов. Приводятся зависимости коэффициента ускорения от размерности алгебраического аналога и количества вычислительных процессов, полученные при решении одномерной краевой задачи.

R.G. Kulikov, A.A. Zvyagin
APPLICATION OF PARALLEL COMPUTING TECHNOLOGIES TO SOLUTION OF NONLINEAR ELASTIC UNIAXIAL DEFORMATION BOUNDARY PROBLEM
Keywords: *nonlinear theory of elasticity, parallel computing, finite element method*.

The work considers application of parallel computing technology to solving the boundary problems of nonlinear elasticity based on the linearization of the variational formulation. Usage of finite element method for the construction of finite-dimensional analog is considered. The dependences of acceleration coefficient on the dimension of algebraic analog and number of computational processes are given, that obtained when solving the one-dimensional boundary value problem.

Д.Г. Лазаренко, В.А. Ружников, В.Р. Агафонов, Г.Э. Лазаренко, С.М. Тулин
РАЗРАБОТКА КОМПОЗИТНОГО НАНОСТРУКТУРИРОВАННОГО КОЛЛЕКТОРА ТЕРМОЭМИССИОННОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ
Ключевые слова: термоэмиссия, композит, наноструктурирование, коллектор.

Представлены результаты подготовки к экспериментальному исследованию наноструктурированных углеродных материалов в качестве коллектора термоэмиссионного преобразователя. Объект исследования - композит из нанокристаллитов меди, покрытых молекулами фуллерена C_{60}. Исследования проводятся на лабораторном стенде термоэмиссионных испытаний с плоскими коллекторами диаметром 14 мм. Исследуемый материал обладает низкой работой выхода электронов и, следовательно, является перспективным для повышения КПД низкотемпературных термоэмиссионных преобразователей.

D.G. Lazarenko, V.A. Ruzhnikov, V.R. Agafonov, G.E. Lazarenko, S.M. Thulin
DEVELOPMENT OF THE COMPOSITE NANOSTRUCTURED COLLECTOR FOR THE THERMIONIC ENERGY CONVERTER
Key words: thermal emission, composite, nanostructured materials, collector

The results of preparation for a pilot experimental study of the nanostructured carbon materials as a collector of the thermionic converter are presented. The estimated object for research is a composite of the copper nanocrystallites covered with C60 molecules. Researches are performed at the laboratory stand for thermionic tests with flat collectors with a diameter of 14 mm. The studied material possesses low work of electrons emission, therefore, is perspective for increase the efficiency of low-temperature thermoionic converters.

К.В. Пахомов, О.А. Перегудова, Е.В. Филаткина

СИНТЕЗ ЗАПАЗДЫВАЮЩЕГО УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ КОЛЕСНОГО РОБОТА НА ОСНОВЕ МЕТОДА БЭКСТЕППИНГА

Ключевые слова: мобильный колесный робот, запаздывание в цепи обратной связи, управление с насыщением, бэкстеппинг, знакопостоянная функция Ляпунова.

В работе предложен новый закон управления с переменным запаздыванием для задачи стабилизации программной траектории мобильного колесного робота с двумя степенями свободы. Задача решена на основе применения знакопостоянных функций Ляпунова и процедуры метода бэкстеппинга.

K.V. Pahomov, O.A. Peregudova, E.V. Filatkina

SYNTHESIS OF DELAYED MOTION CONTROL FOR WHEELED ROBOT ON THE BASE OF BACKSTEPPING METHOD

Keywords: wheeled mobile robot, delayed feedback, saturation control, backstepping, semi-definite Lyapunov function.

This paper presents the continuous nonlinear control law with delay for non-stationary motion stabilization of the mobile robot with two degree of freedom. The problem is solved on the use of semi-definite Lyapunov functions and procedure of backstepping method.

С.В. Половченко, В.В. Роговский, П.В. Чартий, В.Г. Шеманин

ЛАЗЕРНАЯ ДИАГНОСТИКА РЕЛАКСАЦИОННЫХ АЭРОДИСПЕРСНЫХ ПОТОКОВ

Ключевые слова: поток, аэрозоль, лазер, импульсная инжекция.

В данной статье отражены результаты выполненных исследований на специальном пылевом стенде. Для исследования зависимости оптических параметров получаемых аэродисперсных потоков была собрана установка реализующая возможность лазерного зондирования аэродисперсного потока на нескольких длинах волн одновременно методом спектральной прозрачности и интегрального светорассеяния.

S.V. Polovchenko, V.V. Rogowsky, P.V. Charty, V.G. Shemanin

LASER DIAGNOSTICS RELAXATION AERODISPERSE FLOWS

Keywords: stream, spray, laser, pulsed injection

This paper describes the results of research on a special dust stand. To study the dependence of the optical parameters obtained aerodisperse flow was collected installation realizes the possibility of laser sensing Aerodisperse flow at several wavelengths simultaneously by spectral transmittance and integral light scattering.

В.В. Трегулов, Г.Н. Скопцова

ВЛИЯНИЕ АНТИОТРАЖАЮЩЕГО ПОКРЫТИЯ НА ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КРЕМНИЕВОГО ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ

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

Приведены результаты исследования оптических и электрофизических характеристик кремниевых фотоэлектрических преобразователей солнечной энергии. Получена модель, объясняющая влияние толщины антиотражающей пленки пористого кремния на электрофизические характеристики.

V.V. Tregulov, G.N. Scoptsova

EFFECT OF ANTIREFLECTION COATING ON THE ELECTRICAL PROPERTIES OF SILICON PHOTOVOLTAIC SOLAR ENERGY CONVERTERS

Key words: antireflection coating, porous silicon, reflection spectra, a photoelectric converter.

The results of the optical and electro physical characteristics of silicon photovoltaic solar energy converters, is presented. A model explaining the effect of the thickness of the antireflection film of the porous silicon on the electro physical characteristics was obtained.

Е.В. Биктагирова, В.К. Половняк, В.В. Биктагиров

КОРРЕЛЯЦИЯ ОСНОВНЫХ 3d- ОРБИТАЛЕЙ ИОНОВ Ti(III) В АССОЦИАТАХ ПО ДАННЫМ ЭПР

Ключевые слова: ЭПР, трехвалентный титан, орбитальное упорядочение.

Для $TiCl_3$ в растворе и каталитической системы $TiCl_4$+ТИБА методом спектроскопии ЭПР обнаружено орбитальное упорядочение обменно-связанных ионов Ti(III) в ассоциатах.

E.V. Biktagirova, V.K. Polovnyak, V.V. Biktagirov

THE CORRELATION OF BASED 3d-ORBITALS OF IONS Ti(III) IN ASSOCIATES BY ESR DATA

Keywords: ESR, three- valence titanium, orbital ordered.

The orbital ordered of exchange coupied Ti(III) ions in associates states for $TiCl_3$ in solution and the $TiCl_4$ + TIBA catalyst system was observed by ESR spectroscopy method.

А.К. Молодкин, Н.Я. Есина, М.Н. Курасова,
М.В. Тачаев, О.И. Андреева

МОНОЛИГАНДНЫЕ КООРДИНАЦИОННЫЕ СОЕДИНЕНИЯ Rh(III) С АМИНОКИСЛОТАМИ

Ключевые слова: родий, координационные соединения, аминокислота.

Изучено комплексообразование ионов Rh(III) с аминокислотами в водном растворе, рассчитаны константы образования комплексов. Синтезированы соединения $Rh(Ala)Cl_3{\cdot}2H_2O$, $Rh(Ala)_3Cl_3$, $Rh(Ala^-)Cl_2{\cdot}2H_2O$, $Rh(Ala)(Ala^-)Cl_2{\cdot}H_2O$, $Rh(Ser^-)_2Cl{\cdot}H_2O$, $Rh(Lys^-)_2Cl{\cdot}H_2O$, $Rh(Asp^-)Cl_2{\cdot}2H_2O$, $Rh(Asp^-)_2Cl{\cdot}H_2O$. Выделенные соединения охарактеризованы методами ЯМР, ИК спектроскопии.

A.K. Molodkin, N.Y. Esina, M.N. Kurasova,
M.V. Tachaev, O.I. Andreeva

MONO-LIGAND COMPLEX COMPOUNDS OF Rh(III) WITH AMINOACIDS

Key words: rhodium, complex compounds, amino acid.

Complex formation of Rh(III) ions with aminoacids in water solutions was studied, stability constants were calculated. $Rh(Ala)Cl_3{\cdot}2H_2O$, $Rh(Ala)_3Cl_3$, $Rh(Ala^-)Cl_2{\cdot}2H_2O$, $Rh(Ala)(Ala^-)Cl_2{\cdot}H_2O$, $Rh(Ser^-)_2Cl{\cdot}H_2O$, $Rh(Lys^-)_2Cl{\cdot}H_2O$, $Rh(Asp^-)Cl_2{\cdot}2H_2O$, $Rh(Asp^-)_2Cl{\cdot}H_2O$ were synthesized by interaction of water solution. Identity of these compounds was determined by means of chemical and thermogravimetric analysis and X-Ray diffraction. Compounds obtained were studied and characterized by NMR and IR-spectroscopy.

Т.В. Сахно, В.М. Курашов, В.М. Емельянов,
А.Р. Кутлахметова, Е.В. Гусева, В.К. Половняк,
Р.И. Хайдарова

БАКТЕРИЦИДНЫЕ И АНТИОКСИДАНТНЫЕ СВОЙСТВА ПРОКСАНОЛА-168 В ПРИСУТСТВИИ СУЛЬФАТВОССТАНАВЛИВАЮЩИХ БАКТЕРИЙ РОДА *DESULFOBAKTER*

Ключевые слова: биодеградация, окисление, проксанол, Desulfobacter, бактерицидные свойства, антиоксидантные свойства.

Изучены процессы деградации нефти и окисления стальных пластин сульфатвосстанавливающими бактериями Desulfobacter, выделенными из Ромашкинского месторождения Республики Татарстан, в присутствии проксанола. Показано влияние низких концентраций проксанола на процессы окисления металла и биодеградации нефти. Выявлено, что проксанол с увеличением концентрации от 10^{-4} до 10^{-1} г/л интенсифицирует процессы окисления металла и биодеградации нефти.

T.V. Sakhno, V.M. Kurashov, V.M. Emelyanov,
A.R. Kutlahmetova, E.V. Guseva, V.K. Polovnyak,
R.I. Haidarova

BACTERICIDAL AND ANTIOXIDANT PROPERTIES OF PROXANOL-168 IN THE PRESENCE OF SULFATE- REDUCING MICROORGANIZMS *DESULFOBAKTER*

Key words: biodegradation, oxidation, Proxanol, Desulfobacter, bactericidal, antioxidant properties.

Studied the processes of oil degradation and oxidation of the steel plates of sulfate-reducing microorganizms Desulfobacter, isolated selected from Romashkinskoye field Republic of Tatarstan in the presence of Proxanol. Shows the influence of low concentrations of Proxanol on the oxidation of the metal and the biodegradation of oil. Revealed that Proxanol with increasing concentrations from 10^{-4} to 10^{-1} g /l intensifies the processes of metal oxidation and biodegradation of oil.

А.К. Чубенко, А.И. Мамаев, Ю.Ю. Будницкая,
Т.И. Дорофеева

РОЛЬ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ТОКОВОГО ИМПУЛЬСА КАК ФАКТОРА УПРАВЛЕНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ АНОДНО-ОКСИДНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ПРИМЕРЕ СПЛАВА АЛЮМИНИЯ Д16

Ключевые слова: микродуговое оксидирование, приэлектродный слой, локализация энергии, физико-механические характеристики покрытий.

Рассмотрены теоретические закономерности локализации энергии в условиях импульсного электровоздействия на электрохимическую систему, в соответствии с которыми длительность импульса напряжения является инструментом управления величиной и пространственной областью локализации энергии на границе раздела фаз металл – раствор электролита. Приведены экспериментальные данные, которые показывают, что с увеличением длительности формирующих импульсов происходит увеличение пористости и шероховатости покрытий и возрастание доли элементов, вовлекаемых в состав покрытия из электролита.

A.K. Chubenko, A.I. Mamaev, Ju.Ju. Budnitskaya,
T.I. Dorofeeva

CURRENT IMPULSE DURATION ROLE AS MANAGEMENT FACTOR FOR PHYSICOMECHANICAL CHARACTERISTICS OF ANODIC OXIDATION COATINGS BY EXAMPLE OF D16 ALUMINIUM ALLOY

Keywords: microarc oxidation, near-electrode layer, energy localization, physicomechanical characteristics of coatings.

Theoretical regularities of energy localization under pulse electroinfluence on the electrochemical system are considered, accordingly the voltage impulse duration is the management instrument for size and spatial area of energy localization at the metal – electrolyte solution interface. The given experimental data show that the increase of forming impulses duration causes porosity and roughness increase of coatings and partial increase of elements involved in coating structure from the electrolyte.

Д.А. Акимов

БЕСКОНТАКТНЫЙ ИНТЕРФЕЙС ДЛЯ ОПЕРАТОРОВ УПРАВЛЕНИЯ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ СИСТЕМАХ КОНТРОЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ

Ключевые слова: компьютерное зрение, нечёткие нейронные сети, нечеткая логика, промышленные системы управления, распознавание образов, интеллектуальные интерфейсы.

Настоящая работа посвящена обсуждению проблемы создания интерфейсов и систем съёма информации с глаз для контроля технологических процессов в промышленности.

D.A. Akimov

THE NONCONTACT INTERFACE FOR OPERATORS OF MANAGEMENT ON INDUSTRIAL MONITORING SYSTEMS TECHNOLOGICAL PROCESS

Keywords: computer vision, fuzzy neural networks, fuzzy logic, industrial control systems, pattern recognition, intelligent interfaces.

This issue is devoted to the problems of creating a monitoring and control system of the operator in industry, based on the methods of computer vision.

В.А. Аришин, К.В. Сызранцева

РАСЧЕТ, ОПТИМИЗАЦИЯ И ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ДЕМПФИРУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА ОСЕВЫХ КОЛЕБАНИЙ БУРИЛЬНОЙ КОЛОННЫ

Ключевые слова: бурение скважин, демпфирующий элемент, надежность метод конечных элементов, случайный режим нагружения, непараметрическая статистика.

В статье представлены результаты расчета и оптимизации демпфирующего элемента устройства компенсации осевых колебаний в условиях неглубокого залегания твердых горных пород. Предложен метод оценки надежности демпфирующего элемента при различных условиях нагружения на этапе его проектирования.

V.A. Arishin, K.V. Syzrantseva

CALCULATION, OPTIMIZATION AND RELIABILITY ESTIMATION OF AXIAL VIBRATION DAMPER OF DRILL STRING

Key words: Well boring, damping unit, reliability, finite element method, random load regime, nonparametric statistics.

The paper presents the results of calculation and optimization of axial vibration damper in conditions of shallow depth of hard rock. The authors propose new method of reliability estimation of damper at different load condition on its design stage.

В.Р. Асадченко, А.В. Ермилов

РАЗРАБОТКА МЕТОДА РАСЧЕТА ТОРМОЗНОГО ПУТИ ПРИ КОМПОЗИЦИОННЫХ ТОРМОЗНЫХ КОЛОДКАХ В ЗИМНИХ УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Ключевые слова: Расчет, тормозная колодка, обледенение, тепловой режим.

В статье проанализированы существующие методы расчета тормозного пути подвижного состава. Указаны недостатки данных расчетов. Приведен анализ возможности использования композиционных тормозных колодок на подвижном составе. Предложен уточненный метод расчета тормозного пути при использовании композиционных тормозных колодок в зимних условиях эксплуатации.

V.R. Asadchenko, A.V. Ermilov

DEVELOP A METHOD FOR CALCULATING THE STOPPING DISTANCE FOR COMPOSITE BRAKE SHOES IN WINTER CONDITIONS

Keywords: Calculation, brake shoes, icing, heat mode.

The paper analyzes the existing methods for calculating the braking distance of rolling stock. The drawbacks of these calculations. The analysis of the possible use of composite brake blocks on rolling stock. We propose a refined method of calculating the stopping distance when using composite brake blocks in winter conditions.

О.И. Бахирева, А.В. Басов, Т.В. Кондратьева, С.А. Иларионов, В.В. Горелов, В.Н. Басов

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ ПОЧВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИММОБИЛИЗОВАННЫХ НА ГЛАУКОНИТЕ МИКРООРГАНИЗМОВ

Ключевые слова: обезвреживание нефтезагрязненных почв, глауконит, сорбция углеводородов, биоразложение углеводородов.

Рассмотрены методы обезвреживания почвы, загрязненной нефтепродуктами, включающие использование сорбционных процессов и применение

O.I. Bahireva, A.V. Basov, T.V. Kondratyeva, S.A. Ilarionov, V.V. Gorelov, V.N. Basov

RESEARCH OF PROCESS OF NEUTRALIZATION OF THE PETROPOLLUTED SOILS WITH USE OF THE MICROORGANISMS IMMOBILIZED ON GLAUKONIT

Keywords: neutralization of the petropolluted soils, glaukonit, a sorb of hydrocarbons, biodecomposition of hydrocarbons.

Methods of neutralization of the soil polluted by oil products, including use of sorb processes and application of active microbic strains are considered.

активных микробных штаммов. Описана суть проведенной научной работы по совмещению процессов сорбции и биоразложения углеводородов, загрязняющих почву. Показано, что для достижения наибольшей эффективности очистки почвы биопрепараты необходимо наносить на предварительно прокаленный глауконит. Также в статье приведены результаты обезвреживания нефтезагрязненной почвы с использованием комбинированных на глауконите микроорганизмов.

The essence of the carried-out scientific work on combination of processes of a sorbtion and biodecomposition of the hydrocarbons polluting the soil is described. It is shown that for achievement of the greatest efficiency of weeding it is necessary to put biological products on previously calcinated glaukonit. Also results of neutralization of the petropolluted soil are given in article with use combined on glaukonit microorganisms.

В.Ф. Беккер

ОЦЕНКА ЗАПАЗДЫВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В ДИНАМИКЕ НЕСТАЦИОНАРНОЙ СЕПАРАЦИИ ГУБЧАТОГО ТИТАНА

Ключевые слова: нестационарность, сепарация, губчатый титан, тепловой режим, двухпозиционное регулирование.

Описана методика оценки изменяющегося запаздывания в системе регулирования теплового режима сепарации губчатого титана. Предложено корректировать зону нечувствительности многоканального двухпозиционного регулятора по величине оперативно оцениваемого запаздывания.

V.F. Becker

EVALUATION LAG TEMPERATURE DYNAMICS UNSTEADY SEPARATION TITANIUM SPONGE

Keywords: unsteadiness, separation, sponge titanium, heat treatment, two-position control.

A technique for evaluation of varying delay in the regulation of the thermal regime of separation of titanium sponge. Proposed to adjust the dead zone multi-off regulator to quickly assess the magnitude of retardation.

В.Ф. Беккер, М.Г. Гребенева

ВВЕДЕНИЕ МНОГОАГЕНТНОЙ КОМПОНЕНТЫ В УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ХИМИЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ

Ключевые слова: многоагентная система, функции агента, управление качеством, взаимодействие, распределенное решение, выбор сценариев.

В рамках многоагентной системы выполнена децентрализация управления качеством продукции крупного химического предприятия. Разработана архитектура системы. Показана организация связей между агентами. Определен круг коллекторных и управляющих функций агента. Сформулированы условия выбора оптимальных сценариев. Предложен алгоритм выработки решений, обеспечивающих повышение эффективности управления качеством продукции.

V.F. Bekker, M.G. Grebeneva

INTRODUCTION MULTIAGENT COMPONENTS IN QUALITY MANAGEMENT OF CHEMICALS

Keywords: multi-agent system, an agent, quality management, interaction, distributed solution, the choice of scenarios.

In the framework of multi-agent system is made decentralization of quality control of a large chemical company. The system architecture is developed. The communication between agents. A circle of collection and control functions of the agent. The conditions determining the optimal scenario. An algorithm for decision-making to ensure better management of product quality.

А.А. Бешта, Ю.В. Новикова

СПОСОБ ЧИСЛЕННОЙ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Ключевые слова: состояние информационной системы, этапы атаки, уровень защищенности.

В статье рассмотрена задача численной оценки состояния автоматизированной информационной системы. Описаны этапы типовой атаки и граф состояния системы. Описан предложенный авторами способ количественной оценки состояния системы, результаты его применения и варианты возможного использования.

A.A. Beshta, U.V. Novikova

METHOD OF NUMERICAL ESTIMATION OF INFORMATION SYSTEM STATUS

Keywords: *status of information system, stage of attack, security level.*

The problem of the numerical evaluation of an information system state is considered in this paper. Stages of a typical attack and graph of the system state were described. Method of numerical evaluation of the system state were described. The results of its application were shown and the variant of using were proposed.

А.П. Буйносов, Я.А. Мишин
АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ УЗЛОВ ЭЛЕКТРОВОЗОВ ВЛ10 И ВЛ11 НА ОСНОВЕ ДИАГРАММЫ ИСИКАВЫ
Ключевые слова: электровоз, узел, надежность, диаграмма Исикавы, анализ, причины.

На основе диаграммы Исикавы выполнен анализ надежности узлов электровозов ВЛ10 и ВЛ11 с целью выявления причинно-следственных факторов, получения качественных и количественных характеристик.

A.P. Buinosov, Ya.A. Mishin
RELIABILITY ANALYSIS OF NODES OF ELECTRIC LOCOMOTIVES OF VL10 AND VL11 ON THE BASIS OF THE CHART ISIKAVA
Key words: electric locomotive, node, reliability, Isikava's chart, analysis, reasons.

On the basis of Isikava's chart reliability analysis of nodes of electric locomotives of VL10 and VL11 for the purpose of detection of cause-effect factors, obtaining qualitative and quantitative characteristics is made.

А.П. Буйносов, Я.А. Мишин
АНАЛИЗ ОТКАЗОВ УЗЛОВ ЭЛЕКТРОВОЗОВ ПОСТОЯННОГО ТОКА НА ОСНОВЕ ЗАКОНА ПАРЕТО
Ключевые слова: электровоз, узел, отказ, закон Парето, анализ, причины.

В статье рассматривается применение закона Парето для анализа отказов узлов электровозов постоянного тока для выявления причин возникновения дефектов.

A.P. Buinosov, Ya.A. Mishin
THE ANALYSIS OF FAILURES OF NODES OF ELECTRIC LOCOMOTIVES OF THE DIRECT CURRENT ON THE BASIS OF PARETO LAW
Key words: electric locomotive, node, failure, Pareto law, analysis, reasons.

In article application of the law of Pareto for the analysis of failures of nodes of electric locomotives of a direct current for detection of origins of defects is considered.

А.М. Васильев, М.А. Костромин, А.П. Резько
РАЗРАБОТКА ОБОБЩЕННОЙ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ И УПРАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ РОБОКАРА
Ключевые слова: робокар, автоматизация производства, информационно-измерительная и управляющая система, обобщенная функциональная схема.

В работе представлены результаты разработки обобщенной функциональной схемы информационно-измерительной и управляющей системы робокара, который представлен в виде совокупности информационно-измерительной и управляющей системы и совокупности исполнительных устройств. Такое представление позволяет системно подойти к проектированию как всего робокара, так и его компонентов.

A.M. Vasilyev, M.A. Kostromin, A.P. Rezko
WORKING OUT OF THE GENERALIZED FUNCTION CHART OF INFORMATION-MEASURING AND OPERATING SYSTEM ROBOKARA
Keywords: robokar, manufacture automation, the information-measuring and operating system, the generalised function chart.

In work results of working out of the generalised function chart of information-measuring and operating system robokara which is presented in the form of set of information-measuring and operating system and set of actuation mechanisms are presented. Such representation allows is system to approach to designing as all robokara, and its components.

В.В. Глебов, А.Ю. Шурыгин, А.В. Курненков
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ УСТАНОВКИ ОЧИСТКИ СОЖ НА ГИДРОДИНАМИЧЕСКУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ ПОТОКА НА ОСНОВЕ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
Ключевые слова: смазочно-охлаждающая жидкость, очистка, ротор, конечно-элементное моделирование, устойчивость.

В работе на основании конечно-элементного моделирования установлены зависимости длины образующей, на которой наблюдается устойчивое течение потока на поверхности ротора, от технологических (расхода жидкости и частоты вращения ротора), а также конструктивных параметров (формы и материала ротора) установки очистки смазочно-охлаждающей жидкости.

V.V. Glebov, A.Yu. Shurygin, A.V. Kurnenkov
INVESTIGATION ON THE INFLUENCE OF DESIGN AND TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF COOLANT CLEANING SYSTEM ON THE HYDRODYNAMIC FLOW STABILITY BY FINITE ELEMENT ANALYSIS
Keywords: coolant, cleaning, rotor, finite-element analysis, stability.

This paper presents finite-element analysis based dependences of the surface line length, along which a rotor surface flow is steady, of the water coolant cleaning system technological (flow rate and rotational speed of the rotor) and design parameters (shape and material of the rotor).

М.В. Дерябкина

НЕКОТОРЫЕ ПРОБЛЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЯ КАВИТАЦИОННЫХ ЯВЛЕНИЙ

Ключевые слова: кавитационный износ, критерии стойкости, критерии износа, эрозия оборудования, агрессивная среда, паровые турбины, влажный пар.

В работе проведен подробный анализ современных результатов исследования кавитационных явлений в процессах эрозионного износа энергетического оборудования. Показано, что, несмотря на большой объем имеющихся данных, не существует универсальных критериев оценки кавитационного износа, однозначного для всех видов металлов и сплавов. Кроме того, сопоставимость результатов экспериментов по моделированию износа, полученных на разных установках представляет затруднения.

M.V. Deryabkina

SOME PROBLEMS OF CAVITATION EFFECT INVESTIGATION

Key words: cavitation wear, resistance criteria, wear criteria, erosion of equipment, aggressive environment, steam turbine, wet steam.

The article introduces a detailed analysis of up-to-date investigation results of cavitation effect in processes of erosive wear of energy equipment. The absence of universal criteria applicable to all kinds of alloys and metals to estimate cavitation wear is proved. A problem of comparability of results of experiments obtained at various equipment to simulate the wear is revealed.

А.А. Елисов

ИЗМЕРЕНИЕ ГЛУБИНЫ ПОВЕРХНОСТНЫХ ТРЕЩИН В ГАЛТЕЛЬНЫХ ПЕРЕХОДАХ МЕТАЛЛОИЗДЕЛИЙ ЭЛЕКТРОПОТЕНЦИАЛЬНЫМ МЕТОДОМ

Ключевые слова: электропотенциальный метод, поверхностная трещина, выпуклая цилиндрическая поверхность, кривизна.

Р*абота посвящена разработке средств и способа измерения электропотенциальным методом глубины поверхностных трещин в области галтельных переходов металлоизделий.*

A.A. Elisov

THE MEASUREMENT OF THE DEPTH OF SURFACE CRACKS IN THE FLUTE TRANSITIONS OF FABRICATED METAL PRODUCTS METHOD

Key words: electric potential method, surface crack, surface crack, convex cylindrical surface, the curvature.

The work is devoted to the development of tools and methods of measurement of method of depth of surface cracks in the field of fillet transitions of fabricated metal products.

А.М. Игнатова, С.В. Наумов, М.М. Каминский, В.Л. Попов, Б.Ю. Антонов, М.Н. Игнатов, О.Ю. Шешуков

ПРОЕКТНО-ПЛАНИРОВОЧНОЕ РЕШЕНИЕ МОДУЛЯ ПО ПРОИЗВОДСТВУ ПЛАВЛЕНОГО СВАРОЧНОГО ФЛЮСА ИЗ ТЕХНОГЕННЫХ ОБРАЗОВАНИЙ КАМНЕЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Ключевые слова: Петургия, каменное литье, силикатный расплав, минеральное сырье, сварка, сварочные флюсы, рециклинг.

В статье проектно-планировочные решения для организации производства плавленых сварочных флюсов на базе сырья из техногенных образований горно-металлургических предприятий.

A.M. Ignatova, S.V. Naumov, M.M. Kaminsky, V.L. Popov, B.J. Antonov, M.N. Ignatov, O.J. Sheshukov

PROJECT PLANNING SOLUTION MODULE MANUFACTURING MELTING WELDING FLUX FROM INDUSTRIAL FORMATIONS PETRURGICAL PRODUCTION

Keywords: Petrururgy, stone molding, silicate melt, minerals, welding, welding fluxes, recycling.

In this paper the design and planning solutions for production of fused welding flux on the basis of raw materials from industrial structures of mining companies.

Б.В. Казбеков

РАСПОЗНАВАНИЕ ПОДВИЖНЫХ НАЗЕМНЫХ ОБЪЕКТОВ С БОРТА БЛА

Ключевые слова: идентификация объектов, распознавание объектов, морфологическая обработка изображений, маска движения.

В статье представлены результаты решения задачи распознавания подвижных наземных объектов с борта БЛА. Описаны существующие подходы и методы распознавания. Обоснована необходимость разработки нового алгоритма, вызванная спецификой решаемой задачи. Описан разработанный алгоритм.

B.V. Kazbekov

RECOGNITION OF MOVING GROUND TARGETS FROM THE BOARD UAVS

Keywords: object identification, object recognition, morphological image processing, motion mask.

This paper presents the results of solving the problem of recognition of moving ground targets from the board UAVs. Describes the existing approaches and methods of recognition. The necessity to develop a new algorithm, caused by the specifics of the problem being solved. Presents the developed algorithm.

Н.Н. Карнаухов, А.В. Яркин, А.Р. Крук, Ф.Д. Шараев
МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЭЛЕКТРОПРОГРЕВА ГИДРОПРИВОДА В ЗИМНИЙ ПЕРИОД

Статья посвящена проблеме эксплуатации гидравлической машины в холодных климатических условиях. Рассмотрены трудности при подготовке гидропривода к работе, предложена конструкция устройства для предпускового электроподогрева элементов гидропривода. Предложена методика расчета системы для предпусковой тепловой подготовки гидропривода, позволяющая оценить эффективность использования предложенной конструкции.

N.N. Karnauhov, A.V. Yarkin, A.R. Kruk, F.D. Sharaev
METHODOLOGY OF CALCULATION OF ELECTRIC HEATING OF HYDRAULIC MACHINE IN WINTER

Keywords: construction machine, low temperature exploitation, volume hydraulic drive, pre-start preparation of machine, winter conditions.

Current article is dedicated to the exploitation of hydraulic machines in cold climate conditions. Problems of preparation of hydraulic machine to work were analyzed. Construction of electric heating elements for preheating of the elements of hydraulic was suggested. Methodology of calculation of electric heating of hydraulic machine in winter was proposed. It allows to calculate and evaluate the efficiency of suggested construction.

Ю.П. Кирин, С.Л. Краев
ИДЕНТИФИКАЦИЯ СИТУАЦИЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВА ГУБЧАТОГО ТИТАНА

Ключевые слова: технологические процессы, ситуации функционирования, идентификация, позиционные системы управления, процессы восстановления и вакуумной сепарации губчатого титана.

В статье изложена методология построения систем идентификации ситуаций функционирования процессов восстановления и вакуумной сепарации губчатого титана в условиях неполной априорной информации о состоянии процессов. Рассмотрены особенности идентификации ситуаций функционирования в позиционных системах управления температурным режимом процессов.

Y.P.Kirin, S.L.Kraev
IDENTIFIFICATION OF SITUATIONS OF FUNCTIONING OF TECHNOLOGICAL PROCESSES IN CONTROL SYSTEMS OF PRODUCTION OF THE SPONGY TITAN

Keywords: technological processes, functioning situations, identification, position control systems, processes of restoration and vacuum separation of the spongy titan.

In article the methodology of creation of systems of identification of situations of functioning of processes of restoration and vacuum separation of the spongy titan in the conditions of incomplete aprioristic information on a condition of processes is stated. Features of identification of situations of functioning in position control systems of a temperature mode of processes are considered.

А.В. Козлова, В.Я. Модорский
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАВИТАЦИОННЫХ ЭФФЕКТОВ В ЗАМКНУТОЙ ТРУБЕ С ПОДВИЖНОЙ СТЕНКОЙ

Ключевые слова: кавитация, колебания, взаимодействие в динамической системе «жидкость-подвижная стенка».

Представлены результаты численного моделирования кавитационных явлений, возникающих при движении поршня в замкнутой трубе, заполненной жидкостью. Разработаны физическая и математическая модели в трехмерной динамической постановке. Обнаружена зависимость параметров кавитации от параметров движения поршня и построены графики изменения давления в фиксированных точках расчетной области.

A.V. Kozlova, V.Ya. Modorsky
NUMERICAL SIMULATION OF CAVITATION EFFECTS IN A CLOSED PIPE WITH MOVABLE WALLS

Keywords: cavitation, fluctuations, interaction in a dynamic system «liquid-movable wall».

This article presents the results of a computational simulation of cavitation phenomena that arise when the piston in a closed tube filled with liquid. Physical and mathematical models in a dynamic three-dimensional setting are developed. During the researchers found the dependence of parameters of cavitation on the law of the piston and the graphs of pressure at fixed points in the computational domain.

В.В. Королев
ПОСТРОЕНИЕ ПРОГРАММ УПРАВЛЕНИЯ НАПРАВЛЯЮЩИМИ АППАРАТАМИ КОМПРЕССОРА МНОГОСВЯЗНОГО ГТД

Ключевые слова: ГТД, переходный процесс, многосвязное управление, направляющие аппараты компрессора.

В статье рассмотрена задача управления

V.V. Korolev
CHOOSING COMPRESSOR VARIABLE INLET GUIDE VANES CONTROL LAW FOR MULTIVARIABLE TURBOFAN ENGINE

Keywords: Turbofan engine, translent rating, multilink control, compressor variable inlet guide vanes.

There is considered compressor variable inlet guide vanes control task for the multivariable turbofan engine

положением НА КВД на переходных режимах работы многосвязного ГТД. Предложены программы управления и реализующая их структура САУ. Проанализированы результаты использования предложенных программ управления.

at the translent rating in this article. Control law and control system were suggested. Performance tests results of considered control law were analysed.

О.В. Костенко, К.Н. Орлова

ПОСТРОЕНИЕ НЕЙРОАЛГОРИТМА ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ СУММАРНОГО ОБЛУЧЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА

Ключевые слова: нейросетевые технологии, радиационное облучение, алгоритмизация.

В работе показан пример построения нейроалгоритма для расчетов и программирования сложных природных систем, таких как суммарное облучение человека. Сконструированная схема нейросети и нейроалгоритм позволят реализовать программирование радиационных процессов с помощью нейросетевых технологий.

O.V. Kostenko, K.N. Orlova

CONSTRUCTION OF THE NEYROALGORITM FOR DETERMINATION A TOTAL HUMAN EXPOSURE

Keywords: neural network technology, radiation exposure, algorithmization.

This article shows the possibility of using neural networks for the calculation and programming of complex natural systems. The scheme of natural processes and neural network algorithm to determine the result of radiation exposure a person are constructed. Algorithm will allow to realize the programming of the radioactive processes using neural network technology.

Я.С. Крюкова, В.О. Каледин, Т.В. Бурнышева

ЭФФЕКТИВНЫЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ КУСОЧНО-ОДНОРОДНОЙ СРЕДЫ

Ключевые слова: метод конечных элементов, электропроводность, кусочно-однородная анизотропная среда, тензор удельного сопротивления.

Получено численного решение задачи электропроводности для случая кусочно-однородной макроанизотропной среды при приложении распределенного тока на границе. Определена зависимость компонент тензора удельного сопротивления армированной среды от параметров включений.

Y.S. Kryukova, V.O. Kaledin, T.V. Burnysheva

EFFICIENT FACTORS OF ELECTRIC CONDUCTIVITY OF PIECEWISE HOMOGENEOUS MEDIUM

Keywords: finite element method, and piecewise homogeneous anisotropic medium resistivity tensor.

The numerical solution of the problem of electrical conductivity in the case of piecewise-homogeneous anisotropic medium with application of the current distribution at the border. The dependence of the resistivity tensor components of reinforced protection option checked.

Д.О. Куценко

ДВУХПАРАМЕТРОВАЯ ВИХРЕТОКОВАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА СВЕРХПРОВОДЯЩЕЙ ПРОВОЛОКИ

Ключевые слова: вихретоковый контроль, сверхпроводник, дефектоскопия, отношение медь/не медь.

Описана вихретоковая установка для дефектоскопии медной оболочки сверхпроводящей проволоки с одновременным измерением отношения медь/не медь в ней. Установка согласована с разработанными в центре Европейского совета ядерных исследований (Церн) требованиями плана обеспечения качества БАК (большого адронного коллайдера).

D.O. Kutenko

EDDY CURRENT SETTING TO CONTROL TWO PARAMETERS OF THE QUALITY OF SUPERCONDUCTING WIRE

Key words: eddy current, superconductor, flaw detection, the attitude of Cu/S.

Described eddy current setting for defectoscopy copper shell superconducting wire with simultaneous measurements of the relationship copper/copper in it. Setting agreed upon with the heart of the European Council for nuclear research (CERN) the requirements of the quality assurance plan TANK (large hadron Collider).

А.Е. Кучма, В.В. Шубина, Е.Ю. Курныкина

О ПУТЯХ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СПОСОБА ПОРОШКОВОГО КРАШЕНИЯ ШВЕЙНЫХ НИТОК В ПСЕВДООЖИЖЕННОМ СЛОЕ

Ключевые слова: текстильные материалы, швейные нитки, крашение, дисперсные красители, псевдоожиженный слой, моноэтаноламин, карбамид.

В статье рассмотрен вариант усовершенствования способа крашения синтетических швейных ниток

A.E. Kuchma., V.V. Shubina., E.Y. Kurnykina

CONCERNING THE WAYS OF IMPROVEMENT OF SEWING THREAD POWDER DYEING IN AIR – FLUIDIZED BED

Key words: textile materials, sewing threads, dyeing, dispersive dyes, fluidized bed, monoethanolamine, urea.

In the article the way of improvement of synthetic sewing thread powder dyeing in air-fluidized bed is analyzed. The methods to improve the quality of sewing thread

порошковыми красителями в псевдоожиженном слое. Предложены решения для улучшения качества окраски швейных ниток и увеличения производительности устройства, для порошкового крашения швейных ниток.

dyeing and to increase the performance of the equipment for powder dyeing of sewing thread are proposed.

Г.Э. Лазаренко, С.М. Тулин, В.В. Медведев
РАЗРАБОТКА АВАРИЙНОГО ИСТОЧНИКА ТОКА ДЛЯ АЭС
Ключевые слова: термоэлектричество, электрофизический стенд, ядерный реактор.

Проведено экспериментальное исследование работоспособности кольцевого термоэлектрического модуля в условиях внешнего или внутреннего подвода тепла конвекцией теплоносителя. Получены предварительное экспериментальные данные по эффективности кольцевого термоэлектрического модуля в условиях, приближенных к реальным для каналов аварийного расхолаживания реакторов БРЕСТ-ОД-300 и СВБР.

G.E. Lazarenko, S.M. Thulin, V.V. Medvedev
DEVELOPMENT OF THE EMERGENCY POWER SUPPLY SYSTEM FOR NUCLEAR POWER REACTOR
Key words: thermoelectricity, electrical physical installation, nuclear rector

The experimental study to confirm the operability of the ring thermoelectric module in the conditions of an external or internal heat supply by convection is executed. The preliminary experimental data by the efficiency of the ring thermoelectric module in the conditions approached to real for channels of emergency cooling system for BREST-OD-300 and SVBR reactors and are obtained.

Е.Н. Минаев
ИССЛЕДОВАНИЕ КАТОДНОЙ ЗАЩИТЫ СТАЛИ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ВОДЕ
Ключевые слова: коррозия, катодная защита, нелинейное поляризационное сопротивление.

Представлены результаты исследования катодной защиты стали в имитате технологической сточной воды машиностроительного предприятия. Исследования проведены электрохимическим методом нелинейного поляризационного сопротивления. Получены значения защитных потенциалов и интенсивность коррозии при этих потенциалах.

E.N. Minaev
INVESTIGATION OF CATHODIC PROTECTION OF STEEL IN THE SEWAGE
Keywords: corrosion, cathodic protection, nonlinear polarization resistance.

The results of cathodic protection investigation of steel in imitate of technological sewage are presented. The electrochemical method of nonlinear polarization resistance is used. The values of protection potentials and the intensity of corrosion are obtained.

С.В. Наумов, А.Е. Канина, А.М. Игнатова, М.Н. Игнатов
О ФРАКЦИОННОМ СОСТАВЕ СВАРОЧНЫХ ФЛЮСОВ
Ключевые слова: сварочные материалы, гранулы, формирование гранул, флюс, минеральное сырье, дисперсность

Рассмотрены аспекты влияния фракционного состава сварочных материалов на качество шва. Установлено, что с уменьшением размера гранул в их смеси примерно одинакового размера пористость смеси повышается за счет увеличения трения и устойчивости, «прочности» смеси.

S.V. Naumov, A.E. Kanina, A.M. Ignatova, M.N. Ignatov
ON THE FRACTIONAL COMPOSITION OF WELDING FLUX
Keywords: welding materials, grain, granule formation, flux, mineral raw materials, dispersion.

Aspects affecting the fractional composition of welding materials on the quality of the joint. Found that with decreasing grain size in a mixture of about equal size porosity of the mixture rises by increasing the friction and resistance, "strength" of the mixture.

С.В. Наумов, А.Е. Канина, А.М. Игнатова, М.Н. Игнатов
ФОРМИРОВАНИЕ ГРАНУЛ КЕРАМИЧЕСКОГО ФЛЮСА ИЗ ТЕХНОГЕННЫХ ОБРАЗОВАНИЙ МЕСТОРОЖДЕНИЙ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ В ВОЗДУШНОМ ПОТОКЕ СКОРОСТНОГО СМЕСИТЕЛЯ-ГРАНУЛЯТОРА ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ
Ключевые слова: сварочные материалы, гранулы, гранулирование в воздушном потоке, формирование гранул, флюс, минеральное сырье.

S.V. Naumov, A.E. Kanina, A.M. Ignatova, M.N. Ignatov
GRANULOMA FORMATION CERAMIC FLUX FROM INDUSTRIAL FORMATIONS MINERAL DEPOSITS IN THE AIR FLOW SPEED BLENDER BATCH GRANULATOR
Keywords: welding materials, pellets, granulation in the air flow, the formation of granules, flux, minerals.

Consider the scheme of the formation of granules of welding fluxes, granulating devices for high-intensity granulation, the calculation of flow of air flow in the

Рассмотрены схемы формирования гранул сварочных флюсов, гранулирующих устройств для высокоинтенсивного гранулирования, расчет течения воздушных потоков в камере скоростного смесителя-гранулятора и оптимальные параметры гранулирования керамического флюса на основе техногенных образований минерального сырья габброидной и базальтоидной групп.

chamber-speed mixer granulator and the granulation of the optimum parameters of ceramic flux based on man-made mineral formations and gabbroic basalt groups.

А.А. Пейсахович, Е.М. Веденева, Г.В. Семенченко
К ВОПРОСУ О ПОВЫШЕНИИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПАРОФАЗНОГО КРАШЕНИЯ ШВЕЙНЫХ НИТОК
Ключевые слова: текстильные материалы, швейные нитки, крашение, дисперсные красители, парофазное крашение.

В статье рассмотрен способ парофазного крашения синтетических швейных ниток дисперсными красителями в их газообразном состоянии с использованием разработанного устройства. Установлена возможность повышения производительности устройства для крашения путем изменение ландшафта насыпной поверхности дисперсного красителя.

A.A. Peysakhovich., E.M. Vedeneva, G.V. Semenchenko
ON IMPROVING THE EFFICIENCY OF SEWING THREADS VAPOR-PHASE DYEING DEVICE
Key words: textile materials, sewing threads, dyeing, dispersive dyes, vapor-phase dyeing.

In article the way of vapor-phase dyeing of synthetic sewing threads by disperse dyes in their gaseous state with use of the developed device is considered. Possibility of increase of productivity of the device for dyeing by a way change of a landscape of a bulk surface of disperse dye is established.

В.Л. Попов, Б.Ю. Антонов, А.М. Игнатова
КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЛИНИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И ТЕРМИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ЛИТЕЙНЫХ ФОРМ В ПРОИЗВОДСТВЕ ПЕТРУРГИЧЕСКИХ ОТЛИВОК
Ключевые слова: Петрургия, каменное литье, силикатный расплав, минеральное сырье, сушка форм.

В статье изложены материалы по организации линии изготовления, сушки и прокалки разовых песчано-глинистых форм для петургического литья.

V.L. Popov, B.Y. Antonov, A.M. Ignatova
STRUCTURAL-LINE CONSTRUCTION AND CHARACTERISTICS OF HEAT TRAINING IN PRODUCTION MOLDS PETRURGICAL CASTINGS
Keywords: *Petrurgiya, stone molding, silicate melt, minerals, dry form*

In the article on the organization of materials production line, drying and calcination of single sand-clay molds for casting petrurgical.

В.Л. Попов, Б.Ю. Антонов, А.М. Игнатова, М.Н. Игнатов
КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РЕКОНСТРУИРОВАННОЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ КРИСТАЛЛИЗАЦИОННО-ОТЖИГАТЕЛЬНОЙ ПЕЧИ ДЛЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ЛИТЫХ ПЕТРУРГИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ
Ключевые слова: Петрургия, каменное литье, силикатный расплав, минеральное сырье, термообработка, отпуск, кристаллизация.

В статье изложены материалы по реконструированию промышленной кристаллизационно-отжигательной печи для термообработки петургических отливок полученных в песчано-глинистых формах.

V.L. Popov, B.Y. Antonov, A.M. Ignatova, M.N. Ignatov
STRUCTURAL-CHARACTERIZATION RECONSTRUCT INDUSTRIAL CRYSTALLIZATION ANNEALING FURNACES FOR HEAT TREATMENT PETRURGICAL CAST PRODUCTS
Keywords: Petrurgiya, stone molding, silicate melt, minerals, heat treating, tempering, crystallization.

The article describes the materials for reconstructing the industrial crystallization annealing furnaces for heat treatment of castings obtained petrurgical sandy clay forms.

С.И. Рощина, М.С. Сергеев, А.В. Лукина, М.С. Лисятников
ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕРЕВОКОМПОЗИТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭПОКСИДНЫХ ОЛИГОМЕРОВ МОДИФИЦИРОВАННЫХ УГЛЕРОДНЫМИ НАНОТРУБКАМИ

S.I. Roshina, M.S. Sergeev, A.V. Lukina, M.S. Lisyatnikov
STUDY OF COMPOSITE STRUCTURES WITH MODIFIED EPOXY OLIGOMERS CARBON NANOTUBES
Keywords: composite beams, deformability, strength, carbon nanotubes, epoxy oligomers.

Ключевые слова: деревокомпозитные балки, деформативность, прочность, углеродные нанотрубки, эпоксидные олигомеры.

Рассмотрен вопрос применения состава ЭД-20 модифицированного углеродными нанотрубками на примере деревокомпозитной балки с симметричным армированием.

The question of the use of the modified ED-20 carbon nanotubes on the example of the composite beam with symmetrical gain.

И.В. Рыжиков, С.Н. Зайцев

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДИФФУЗИОННЫХ УЧАСТКОВ ВОЛЬТ - АМПЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СВЕТОДИОДОВ С УЧЁТОМ ПРИЛИПАНИЯ ЭЛЕКТРОНОВ И ДЫРОК

Ключевые слова: анализ, светодиод, вольт-амперная характеристика, прилипание электронов и дырок.

Выведены расчетные соотношения для диффузионных участков вольт-амперных характеристик светодиодов с учётом эффекта прилипания электронов и дырок, показано влияние данного эффекта на физику работы СИД.

I.V. Ryzhikov, S.N. Zaytsev

THEORETICAL ANALYSIS OF THE DIFFUSION PLOTS CURRENT - VOLTAGE CHARACTERISTICS OF LEDS IN VIEW ATTACHMENT OF ELECTRONS AND HOLES

Keywords: analysis, LED, the current-voltage characteristic, attachment of electrons and holes.

Deduced estimates for the ratio of the diffusion regions of the current-voltage characteristics of the LEDs for the effect of trapping electrons and holes, which shows the impact of this effect on the physics of the LED.

К.В. Рябинин

РАЗРАБОТКА МУЛЬТИПЛАТФОРМЕННОЙ КЛИЕНТ-СЕРВЕРНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ НАУЧНОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ

Ключевые слова: научная визуализация, мобильные платформы, OpenGLES, VTK, VES.

В данной статье рассматривается вопрос создания клиент-серверной системы для сложной визуализации результатов научных вычислений. В настоящее время, в связи с возрастающей популярностью мобильных устройств (смартфонов и планшетных компьютеров) остро встаёт проблема мультиплатформенности разрабатываемого ПО, то есть его работоспособности на мобильных устройствах и настольных компьютерах без модификации исходного кода. В статье рассматривается решение данной проблемы: серверная часть описываемой системы может выполняться как на настольном компьютере, так и на высокопроизводительной распределённой вычислительной системе, а клиентская часть – как на настольном компьютере, так и на мобильном устройстве. Процесс визуализации адаптивно распределяется между клиентом и сервером так, чтобы обеспечить оптимальную нагрузку и наибольшую скорость.

K.V. Ryabinin

DEVELOPING OF MULTI-PLATFORM SCIENCE VISUALIZATION SYSTEM

Keywords: science visualization, mobile platforms, OpenGLES, VTK, VES

This paper is about the development of science visualization system based on client-server architecture. At the present time the mobile devices (smartphones and tablets) became very popular, so there is a problem to develop multi-platform software being able to work on mobile devices as well as on desktop computers with no code modifications. In the paper the solution of this problem is proposed: server-side of the described system can be executed on the desktop computer, as well as on the high-performance distributed computing system; client-side is able to run on the desktop, as well as on the mobile device. Rendering process is adaptive distributed between client and server to ensure optimal load and performance.

В.А. Седов, Н.А. Седова

ГИБРИДНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ СУДНОМ

Ключевые слова: нечёткая логика, скорость ветра, направление течения, сила волнения, лингвистическая переменная.

Разработана модель гибридной интеллектуальной системы управления морским судном, в состав которой входят авторулевой, нейронная сеть для прогнозирования изменения внешних воздействий на судно, а также три нечеткие системы, две из которых определяют уровень внешних воздействий

V.A. Sedov, N.A. Sedova

HYBRID SHIP CONTROL SYSTEM

Keywords: fuzzy logic, wind speed, flow direction, waves force, linguistic variable

The model of intelligent hybrid ship control system is presented. The model includes autopilot, a neural network to predict the changes in the external influences on the ship, and three fuzzy systems, two of which determine the level of external factors (predicted and actual), and the third - the mode of operation of the autopilot . The linguistic variables of fuzzy systems and

(прогнозных и фактических), а третья – режим функционирования авторулевого. Описаны лингвистические переменные нечётких систем, входящих в гибридную систему, а также представлены их базы нечётких продукций и поверхности нечёткого вывода.

А.А. Селиверстов, И.Е. Тимофеев, С.Х. Загидуллин
К ВОПРОСУ О НАЛИПАНИИ МАТЕРИАЛА НА РАБОЧИЕ ПОВЕРХНОСТИ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ СУШИЛОК

Ключевые слова: пневматическая сушилка, налипание, хлорид калия.

Описан характер движения материала в пневматической трубе-сушилке и проанализированы причины его налипания на рабочие поверхности аппарата. Описана оригинальная конструкция пневматической сушилки, в которой предложен новый подход к решению проблемы налипания.

Ю.В. Стародубцева
ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ ОБРАТНОЙ ГРАНИЧНОЙ ЗАДАЧИ РЕГУЛЯРИЗОВАННЫМ МЕТОДОМ ЛЕВЕНБЕРГА-МАРКВАРДТА

Ключевые слова: высоковязкая жидкость, обратная граничная задача, метод Левенберга-Марвкардта, регуляризация.

В работе описывается регуляризованный метод Левенберга-Марквардта для решения некорректной обратной граничной задачи для модели тепловой конвекции высоковязкой несжимаемой неоднородной жидкости. Приводятся алгоритмы численного моделирования и результаты вычислительных экспериментов.

Ю.А. Степанов
О СПОСОБЕ ВИЗУАЛИЗАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАБОТЫ ОЧИСТНОГО ЗАБОЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛЕКТРОННЫХ КАРТ

Ключевые слова: геоинформационное моделирование, электронное картографирование, выемка угля.

В статье рассмотрен один из способов визуализации результатов компьютерного моделирования технологических процессов выемки угля, что позволит принимать эффективные управленческие решения для ведения высокоинтенсивных, безаварийных горных работ.

Н.А. Степовая, Л.В. Пешкова
ОПТИМИЗИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА АБСОРБЦИИ НИТРОЗНОГО ГАЗА РАСТВОРАМИ АЗОТНОЙ КИСЛОТЫ

Ключевые слова: азотная кислота, оксиды азота, абсорбция, окисление.

В статье представлены результаты изучения работы абсорбционной колонны производства неконцентрированной азотной кислоты. Составлена математическая модель процесса поглощения оксидов азота. Проведены расчеты, позволяющие определить

their base products and fuzzy surface fuzzy logic are described.

A.A. Seliverstov, I.E. Timofeev, S.H. Zagidullin
ON THE ISSUE OF MATERIAL STICKING ON INNER SURFACE OF PNEUMATIC CONVEYING DRIER

Keywords: pneumatic conveying drier, sticking, potassium chloride.

The character of particulate matter motion and causes of material sticking on inner surface of pneumatic conveying drier were described. The original construction of pneumatic conveying drier was presented to find a new approach to the problem of material sticking.

Y.V. Starodubtseva
NUMERICAL SOLUTION OF THE INVERSE BOUNDARY-VALUE PROBLEM BY REGULARIZED METHOD OF LEVENBERG-MARQUARDT

Keywords: high-viscous liquid, inverse boundary-value problem, method of Levenberg-Marquardt, regularization.

This paper presents regularized method of Levenberg-Marquardt for solution ill-posed inverse boundary-value problem for the model of thermal convection of high-viscous non uniform incompressible liquid. Algorithms of the numerical simulation and results of computational experiments are submitted.

Y.A. Stepanov
ON THE WAY TO VISUALIZE RESULT OF MODELING WORK CLEARING FACES WITH THE USE ELECTRONIC CHART

Keywords: GIS modeling, mapping, excavation of coal.

This article describes one way to visualize the results of computer modeling of process coal mining, that will make effective management decisions to maintain high-intensity, trouble-free mining.

N.A. Stepovaya, L.V. Peshkova
PROCESS OPTIMIZATION ABSORPTION NITRIC OXIDES IN THE NITRIC ACID SOLUTION

Key words: nitric acid, nitric oxide, absorption, oxidation.

The study of the results the absorption column in production of dilute nitric acid. The made mathematical model of process of absorption nitrogen oxides is. Are carried out the calculations, allowing to define conditions of an irrigation for decrease in concentration NOx in departing gases absorption columns.

условия орошения для снижения концентрации NO_X в отходящих газах абсорбционной колонны.

К.А. Сурниченко, А.В. Жданов
ПОДХОД К ИМИТАЦИОННОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ ИНТЕГРИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПРЕДПРИЯТИЯ
Ключевые слова: база данных, интегрированная информационная система, имитационное моделирование, потоки данных.

В работе представлен подход к моделированию интегрированной информационной системы предприятия. Представлена структура системы, описаны основные ее элементы. Приведены результаты моделирования в системе MathLab.

K.A. Surnichenko, A.V. Zhdanov
APPROACH TO SIMULATION MODELING INTEGRATED INFORMATION SYSTEMS COMPANY
Keywords: database, integrated information system, simulation, data streams.

This paper presents an approach to the modeling of the integrated information system. The structure of the system, describes its main elements. Presented the results of modeling in MathLab.

В.Н. Сызранцев, В.Н. Ильиных, К.В. Сызранцева
МЕТОДИКА ОБРАБОТКИ ДАННЫХ МАЛОЦИКЛОВЫХ УСТАЛОСТНЫХ ИСПЫТАНИЙ ГИБКИХ ТРУБ
Ключевые слова: Гибкая труба, циклическое изменение нагрузки, предел прочности, предел текучести, циклическое деформирование, малоцикловая усталость.

В статье представлены результаты испытаний образцов изготовленных из гибких труб. Приведены данные разрушения образцов из новой гибкой трубы при ее циклическом деформировании в области малоцикловой усталости.

V.N. Syzrantsev, V.N. Il'inyh, K.V. Syzrantseva
THE METHOD OF DATA PROCESSING OF FLEXIBLE PIPES LOW-CYCLE FATIGUE TESTS
Key words: Flexible pipe, cyclic loading variation, tensile strength, yield strength, cyclic deforming, low-cycle fatigue.

The paper presents the tests results for the samples made of flexible pipes. There are given data about destruction of samples made of new flexible pipe at its cycle deforming in low-cycle fatigue area.

А.А. Талалаев, И.П. Тищенко, В.П. Фраленко, В.М. Хачумов
КОНЦЕПЦИЯ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ВИЗУАЛИЗАЦИИ И ОБРАБОТКИ МЕДИЦИНСКИХ И ПРОМЫШЛЕННЫХ СНИМКОВ
Ключевые слова: концепция, комплекс, обработка и визуализация данных, медицина, промышленность, графический ускоритель.

В статье предложена концепция создания перспективного интегрированного комплекса обработки и визуализации данных медицинского и промышленного назначения. Концепция учитывает современные направления развития медицинских и промышленных технологий в области обработки и визуализации изображений. Для ускорения вычислений предполагается использование кластерных вычислителей, оборудованных графическими ускорителями.

A.A. Talalaev, I.P. Tishchenko, V.P. Fralenko, V.M. Khachumov
THE CONCEPT OF HIGH PERFORMANCE MEDICAL AND INDUSTRIAL IMAGE VISUALIZATION AND PROCESSING COMPLEX
Keywords: *concept, system, data processing and visualization, medicine, industry, graphic accelerator.*

This paper proposes the producing concept of prospective integrated complex for medical and industrial applications data processing and visualization. The concept considers modern medical and industrial technologies development trends in the field of image processing and visualization. To speed up the calculation assumes the use of compute cluster equipped with graphics cards.

А.П. Тейхриб
ОБЗОР ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА ПЕРЕДАЧИ ПОТОКОВЫХ АУДИОДАННЫХ
Ключевые слова: передача потоковых данных, MOS, R-factor, задержка, джиттер, потери пакетов.

В статье рассматриваются основные аспекты качества передачи потоковых аудиоданных. Приводится описание качественных оценок передачи аудиоданных в VoIP — MOS и R-Factor. Также рассматриваются причины, оказывающие влияние на ухудшение данных характеристик.

A.P. Teyhrib
REVIEW OF AUDIO-DATA STREAMING QUALITY CHARACTERISTICS
Keywords: data streaming, MOS, R-Factor, latency, jitter, packet loss.

In this paper main aspects of quality of audio-data streaming are presented. Quantitative assessments of the quality of audio-data streaming - MOS and R-Factor are described. Also reasons for quality degradation are reviewed.

В.С. Фанасков

РАЗРАБОТКА ПРЕДМЕТНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО ЯЗЫКА ПРОГРАММИРОВАНИЯ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ТЕМАТИЧЕСКИХ ЭЛЕКТРОННЫХ КАРТ

Ключевые слова: разработка языков программирования, предметно-ориентированные языки программирования, ГИС, создание электронных карт.

В статье описываются основные этапы разработки предметно-ориентированного языка программирования предназначенного для создания разноплановых электронных карт. Рассмотрен пример формального определения синтаксиса, построения грамматик и лексического анализа с учётом специфики обработки пространственных данных, характерной для специализированого программного обеспечения на базе технологий ГИС.

V.S. Fanaskov

DEVELOPMENT OF DOMAIN-SPECIFIC PROGRAMMING LANGUAGE FOR CREATING THEMATIC ELECTRONIC MAPS

Keywords: development of programming languages, domain-specific programming languages, GIS, creation of electronic maps

This article describes the main stages of the development of domain-specific programming language designed to create a versatile electronic maps. An example of a formal definition of syntax, grammar and construction of lexical analysis specific to spatial data processing, which is characteristic for specialized software, based on GIS technologies.

И.С. Федоров, Г.П. Жигулин

СИСТЕМА ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ КОМПЬЮТЕРНЫХ ПРЕСТУПЛЕНИЙ И ОБРАЗОВАНИЯ ДОКАЗАТЕЛЬНОЙ БАЗЫ ПРИ ИХ СОВЕРШЕНИИ НА ОСНОВЕ КОНТРОЛИРОВАНИЯ ЭКРАНА ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Ключевые слова: экран пользователя, контролирование персонала, внутренние угрозы.

Данная статья рассматривает проблемы контролирования действий сотрудника за компьютером. Проводится обзор существующих способов контролирования действий сотрудника за компьютером, выявляются их недостатки, и проводится обзор способа их решения.

I.S. Fedorov, G.P. Jigulin

SYSTEM OF COMPUTER CRIMES PREVENTION AND EVIDENCE FORMATION BASED ON USER'S SCREEN CONROLING

Keywords: user's screen, employees controlling, inside threat.

This paper views problem of employees actions controlling on computer. It reviews existing ways of employee's actions controlling on computer, displays theirs shortcomings and analyzes ways to fix them.

В.Н. Хмелёв, Р.Н. Голых, С.С. Хмелёв, К.А. Карзакова

ВЫЯВЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ И УСЛОВИЙ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КАВИТАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ ВЫСОКОВЯЗКИХ ЖИДКОСТЕЙ

Ключевые слова: ультразвук, кавитация, вязкие жидкие среды, технологический объем.

В статье представлена разработанная модель процесса формирования кавитационной области при ультразвуковом воздействии на высоковязкие жидкие среды, учитывающая наличие зависимости вязкости жидкости от скорости сдвига. Модель позволила определять оптимальные режимы (интенсивность) и условия (размеры технологического объёма) воздействия.

V.N. Khmelev, R.N. Golykh, S.S. Khmelev, K.A. Karzakova

REVELATION OF OPTIMUM MODES AND CONDITIONS OF HIGH VISCOSITY LIQUIDS TREATMENT BY ULTRASOUND CAVITATION

Keywords: ultrasonic, cavitation, viscous liquids, technological capacity.

The article presents developed model of formation of cavitation area under ultrasonic influence on high viscosity liquids. The theoretical model can be used for calculation of optimum ultrasound influence modes (intensities) and conditions (technological capacity sizes). The model takes into account the viscosity dependence on shear rate.

П.И. Черненко

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ИЗМЕРЕНИЯ ГЛУБИНЫ И УГЛА НАКЛОНА ПОВЕРХНОСТНЫХ ТРЕЩИН ЭЛЕКТРОПОТЕНЦИАЛЬНЫМ МЕТОДОМ

Ключевые слова: электрический потенциал, поверхностная наклонная трещина, электропотенциальный метод.

Работа посвящена разработке алгоритма для измерения глубины и угла наклона поверхностной

P.I. Chernenko

DEVELOPMENT OF THE MEASUREMENT ALGORITHMTHE DEPTH AND ANGLE OF THE SURFACE CRACKS ELECTRO POTENTIAL METHOD

Key words: electric potential, surface angular crack, electric potential method.

The work is devoted to development of the algorithm for measuring the depth and angle of the surface cracks, as

трещины, а также оценки глубины пораженного слоя металла электропотенциальным методом.

well as the evaluation of the depth of the affected layer of metal electric potential method.

А.С. Шакиров
РАДИОЧАСТОТНЫЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ
Ключевые слова: СВЧ нагрев, контроль, многочастотный, композиционный материал.

A.S. Shakirov
RADIOFREQUENCY METHOD SUPERVISION OF MANUFACTURE PRODUCTS FROM COMPOSITE MATERIALS
Keywords: microwave heating, control, multi-frequency, the composite material.

В работе, на примере модельной ситуации, многочастотном СВЧ нагреве в рупорной камере, показана возможность использования мощного энергетического воздействия для контроля качества изготавливаемых композиционных материалов.

In the example of a model situation, the multi-frequency microwave heating in the horn chamber, the possibility of using a powerful energy impact for the quality control of manufactured composites.

Е.И. Шехтман
О НЕКОТОРЫХ АСПЕКТАХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В СИСТЕМЕ «КОЛЕСО - РЕЛЬС»
Ключевые слова: вертикальная погонная жесткость, горизонтальная продольная жесткость.

E.I. Snextman
SOME ASPECTS OF INTERACTION IN THE SYSTEM “WHEEL-RAIL”
Keywords: vertical metric bending stiffness of the base, horizontal longitudinal bending stiffness of base.

В статье изложены следующие вопросы:
некоторые наиболее важные теоретические аспекты контактного взаимодействия системы колесо-рельс, которые могут быть полезны и при решении других контактных задач;
теоретические обоснования отдельных наиболее важных аспектов определяющих эффективность проведения различных мероприятий по управлению техническим состоянием пути, в частности, управления трением;
приведены примеры практического применения некоторых систем управления трением на полигонах железных дорог других стран;
предлагается перечень возможных мер по решению проблемы управления техническим состоянием пути.

There are following aspects in this article:
more important theoretical aspects of the contact interaction of the system "wheel-rail", which can be useful for solving other contact problems;
theoretical proof of some of the most important aspects which determine the effectiveness of various ways for the management of the technical state of rail way, particularly management of friction;
examples of practical using of some systems of friction management at the sites of railways of other countries;
the list of possible actions for solution the problems of management of the technical condition of rail way.

И.А. Штырова
ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ВУЗОВСКОГО ЦЕНТРА ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
Ключевые слова: информационная система, функциональная модель информационной системы, логическая модель информационной системы.

I.A. Shtyrova
THE MODELLING OF INFORMATION-ANALYTICAL SYSTEM OF THE UNIVERSITY CENTER OF ADDITIONAL EDUCATION
Keywords: information system, functional model of the information system, logical model of information system, object model of the information system.

В современных условиях актуальным вопросом является развитие непрерывного образования. В связи с этим необходимо интегрирование вузовского дополнительного образования в единую образовательную систему университета. Автоматизация управленческой деятельности структуры дополнительного образования в вузе позволяет оптимизировать образовательный процесс. В данной статье рассматривается процесс проектирования информационно-аналитической системы вузовского центра дополнительного образования.

Nowadays the actual question of education is development of life-learning education. Due to this fact it is necessary to integrate the high school education to the uniform system. The automation of administrative activity of the structure of the additional education allows to optimize the educational process in the university. This article describes the design process of information-analytical system of the university center of additional education.

П.П. Юрыгин, И.С. Гуданов, Г.М. Гончаров, А.А. Ломов

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СОЭКСТРУЗИИ ДЛИННОМЕРНЫХ КОЛЬЦЕВЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ РЕЗИНОВЫХ СМЕСЕЙ

Ключевые слова: математическая модель, соэкструзия, вязкоупругая жидкость, кабельная изоляция, резиновая смесь.

Статья посвящена исследованию течения резиновых смесей в цилиндрических каналах головок соэкструзионных агрегатов применительно к процессу наложения кабельной изоляции. В работе представлена математическая модель течения нескольких вязкоупругих жидкостей в кольцевых каналах с учетом деформирования границы раздела материалов.

P.P. Yurygin, I.S. Gudanov, G.M. Goncharov, A.A. Lomov

MATHEMATICAL MODELING OF COEXTRUSION OF LENGHTY ANNULAR PRODUCTS FROM RUBBER COMPOUNDS

Keywords: coextrusion, stratified flow, viscoelastic fluid, cable insulation, rubber compound.

The article is devoted to the research of rubber compounds flow in cylindrical channels of coextrusion die units as applied to the process of cable insulation producing. The paper presents a mathematical model of flow of some viscoelastic fluids in annular channels with the interface deformation of materials.

П.П. Юрыгин, И.С. Гуданов, Г.М. Гончаров, А.А. Ломов

МЕТОД ЧИСЛЕННОГО РАСЧЕТА СТРАТИФИЦИРОВАННОГО ТЕЧЕНИЯ ВЯЗКОУПРУГИХ ЖИДКОСТЕЙ В ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ КАНАЛАХ

Ключевые слова: метод расчета, стратифицированное течение, вязкоупругая жидкость, кабельная изоляция, резиновая смесь.

В данной работе представлен метод численного расчета соэкструзионного течения вязкоупругих жидкостей в цилиндрических каналах. Приведен результат расчета простого формующего кольцевого канала с движущейся внутренней стенкой.

P.P. Yurygin, I.S. Gudanov, G.M. Goncharov, A.A. Lomov

NUMERICAL CALCULATION METHOD OF STRATIFIED FLOWS OF VISCOELASTIC FLUIDS IN A CYLINDRICAL CHANNELS

Keywords: *calculation method, stratified flow, viscoelastic fluid, cable insulation, rubber compound*.

This paper presents a numerical calculation method of coextrusion flow of viscoelastic fluids in a cylindrical channels. Shows the calculation result of the simple form annular channel with the moving inner wall.

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

№2 2013

Направления:

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ
ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ
ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

www.ntvp.ru

Свидетельство № ПИ № ФС77-41672 от 13 августа 2010г.

Подписано в печать 20.04.2013 Формат 60 х 84 1/8. Печать цифровая.

14,8 усл.печ.л. 17,0 уч.изд.л. Тираж 900 экз. Заказ 1021.

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»