

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК ПОВОЛЖЬЯ

Сборник научных статей

№1 2011

Направления:

**ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ
ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ
ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ**

Казань

2011

УДК 60

ББК 30-1

Н-66

Н-66 Научно-технический вестник Поволжья. №1 2011г. – Казань: Научно-технический вестник Поволжья, 2011. – 203 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 сборнике научных трудов отражены материалы по теории и практике технических наук.

Материалы сборника 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, 2011 г.

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Обращение Главного редактора – Р.Х. Шагимуллина</i>	8
<i>Б.Н. Иванов, В.С. Минкин</i> СОВРЕМЕННЫЕ АСПЕКТЫ ПРОРЫВНЫХ РЕЗОНАНСНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ	9

СЕКЦИЯ ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

<i>А.С. Андреев, О.Г. Дмитриева, Ю.В. Петровичева</i> ОБ УСТОЙЧИВОСТИ НУЛЕВОГО РЕШЕНИЯ СИСТЕМЫ С РАЗРЫВНОЙ ПРАВОЙ ЧАСТЬЮ	15
<i>А.Г. Исавнин, И.И. Миргазов</i> АСИММЕТРИЧНЫЙ СТОХАСТИЧЕСКИЙ РЕЗОНАНС В СИСТЕМЕ СУПЕРПАРАМАГНИТНЫХ НАНОЧАСТИЦ	21
<i>Г.И. Идрисова, А.А. Лопатин, В.И. Осипова</i> ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ТЕПЛООБМЕНА ПРИ КИПЕНИИ ФРЕОНА R-134a НА МИНИ- И МИКРОШЕРОХОВАТЫХ ПОВЕРХНОСТЯХ	26
<i>Г.А. Камаева, О.А. Перегудова</i> УПРАВЛЕНИЕ МНОГОЗВЕННЫМИ МАНИПУЛЯТОРАМИ С УПРУГИМИ СОЧЛЕНЕНИЯМИ НА ОСНОВЕ ЗАПАЗДЫВАЮЩЕЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ	30
<i>И.В. Суханов, Г.В. Суханова</i> РЕЛАКСАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ В АРМКО – ЖЕЛЕЗЕ ПРИ ДАВЛЕНИЯХ 10 — 40 ГПА	34

СЕКЦИЯ ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

<i>И.В. Голиков, И.Е. Грачева, Г.Н. Крейцберг, О.Г. Крейцберг</i> СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ КОЛЛОИДНОГО РАСТВОРА НАНОЧАСТИЦ СЕРЕБРА	38
---	----

СЕКЦИЯ ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

<i>О.С. Анисимова, А.Р. Барашев, С.В. Карелов, С.В. Мамяченков</i> ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПЛЕКСООБРАЗУЮЩЕГО РЕАГЕНТА ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ ОТРАБОТАННЫХ ЩЕЛОЧНЫХ АККУМУЛЯТОРОВ	41
<i>О.С. Анисимова, С.В. Карелов, С.В. Мамяченков, Д.А. Рогожников</i> ИССЛЕДОВАНИЕ СЕЛЕКТИВНОГО ВЫДЕЛЕНИЯ СВИНЦА ИЗ АЗОТНОКИСЛЫХ РАСТВОРОВ КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ МНОГОКОМПОНЕНТНОГО ВТОРИЧНОГО СЫРЬЯ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ	44
<i>О.С. Анисимова, С.В. Мамяченков, С.С. Набойченко, Д.Цогтхангай,</i> ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ МЕДНОГО КОНЦЕНТРАТА АЗОТНОЙ КИСЛОТОЙ МЕТОДОМ ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА	48
<i>С.А. Антонов, Ю.К. Евдокимов, А.Ю. Кирсанов, Р.Г. Насырова, Д.В. Погодин</i> ВИРТУАЛЬНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ОРИЕНТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ	52
<i>И.А. Анкаров, К.К. Колосов</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ВНЕШНИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБАХ СМЕСЕОБРАЗОВАНИЯ	58
<i>А.С. Афанасьев, А.С. Волков, А.С. Карнов, М.А. Машиковцев, О.И. Ребрин</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР НА СВОЙСТВА ОКСИДНОЙ СИСТЕМЫ Ce-Zr-Al-O	63
<i>В.Ф. Бай, В.В. Воронцов, А.Н. Краев, А.В. Набоков,</i> ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ПЕСЧАНОЙ АРМИРОВАННОЙ СВАИ В ВОДОНАСЫЩЕННОМ ГЛИНИСТОМ ГРУНТЕ	67

<i>В.Ф. Бай, А.Н. Краев</i> ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ ПЛОЩАДНЫХ ФУНДАМЕНТОВ НА СЛАБОМ ГЛИНИСТОМ ОСНОВАНИИ, УСИЛЕННОМ ПЕСЧАНОЙ АРМИРОВАННОЙ ПОДУШКОЙ	72
<i>В.Ф. Беккер, И.Ф. Киссельман</i> МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АБСОРБЦИИ АММИАКА В КОЛОННЕ С ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ПОДВИЖНОЙ НАСАДКОЙ	76
<i>Т.Г. Бунькова</i> ОБ ОПТИМАЛЬНОМ СООТНОШЕНИИ ТВЕРДОСТИ ЦЕЛЬНОКАТАНОГО КОЛЕСА ГРУЗОВОГО ВАГОНА И ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО РЕЛЬСА	86
<i>Т.Г. Виноградова, П.М. Салов, Д.П. Салова</i> КАЧЕСТВО ОБРАБОТАННЫХ ОТВЕРСТИЙ ПРИ ЭЛЕКТРОКОРУНДОВОМ И АЭРОБОРНОМ ШЛИФОВАНИИ	91
<i>Д.В. Вожегов, Д.А. Страбыкин</i> МЕТОД ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ДЕДУКТИВНОГО ЛОГИЧЕСКОГО ВЫВОДА С ОПРЕДЕЛЕНИЕМ ФАКТОВ	97
<i>В.И. Воловач</i> ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ ЗОН ОБНАРУЖЕНИЯ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ ОХРАНЫ ПЕРИМЕТРОВ ОБЪЕКТОВ	100
<i>Е.А. Гербер, В.Н. Кутрунов</i> О ДВИЖЕНИИ КОЛЬЦА ВЯЗКОЙ НЕСЖИМАЕМОЙ КАПИЛЛЯРНОЙ ЖИДКОСТИ	105
<i>А.П. Исаев, Т.И. Искендерли, С.А. Каргин</i> РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОЧЕГО ЦИКЛА ДВИГАТЕЛЯ С КОМБИНИРОВАННЫМ СМЕСЕОБРАЗОВАНИЕМ И ВОСПЛАМЕНЕНИЕМ ОТ СЖАТИЯ	109
<i>В.В. Истомин, Т.В. Истомина, А.В. Киреев, А.И. Сафронов</i> ПРОГРАММНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМЫ ДИСТАНЦИОННОЙ МУЛЬТИДИАГНОСТИКИ И РЕАБИЛИТАЦИИ БОЛЬНЫХ ПОСЛЕ ЭНДОПРОТЕЗИРОВАНИЯ ТАЗОБЕДРЕННОГО СУСТАВА	113
<i>Р.В. Каргин</i> СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ КУЗОВНЫХ МУСОРОВОЗОВ	116
<i>А.Н. Кролевец, А.М. Макеев</i> ПРОГРАММА ПОИСКА ПЛОСКОСТЕЙ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ГРУППИРОВАНИЯ ГИПОЦЕНТРОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ	121
<i>Г.В. Кузнецов, М. Полсонгкрам</i> ЗАВИСИМОСТЬ СОСТАВА ПРОДУКТОВ ПИРОЛИЗА ДРЕВЕСНОЙ БИОМАССЫ ОТ РЕЖИМА ТЕПЛОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ	125
<i>А.П. Левашов, В.М. Шишкин</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ РАССЕЯНИЯ ЭНЕРГИИ В ВОЛОКНИСТОМ КОМПОЗИЦИОННОМ МАТЕРИАЛЕ ПРИ РЕЗОНАНСНЫХ КОЛЕБАНИЯХ КОНСТРУКЦИЙ	130
<i>Б.В. Лукутин, Е.Ж. Сарсикеев</i> МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЕТРОГЕНЕРАТОРОВ	140
<i>Л.А. Мальцева, Т.В. Мальцева, Н.Н. Озерец, К.Д. Храмцова, В.А. Шарапова</i> ВЛИЯНИЕ ТЕРМОПЛАСТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ И РЕЛАКСАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА МЕТАСТАБИЛЬНОЙ АУСТЕНИТНОЙ СТАЛИ	144
<i>А.В. Минаева, А.В. Набоков, Ю.А. Новиков</i> ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ ПЕСЧАНОГО АРМИРОВАННОГО МАССИВА В ВОДОНАСЫЩЕННОМ ГЛИНИСТОМ ГРУНТЕ	148
<i>Д.В. Никольский</i> ВКЛАД ТРАНСПОРТНОЙ НАУКИ В РАЗВИТИЕ ТЕХНИЧЕСКОЙ ТЕРМОДИНАМИКИ. БЕТАНКУР И КЛАПЕЙРОН КАК ОСНОВОПОЛОЖНИКИ ТЕПЛОТЕХНИКИ В РОССИИ	154
<i>Д.С. Новиков, А.И. Яманин</i> СНИЖЕНИЕ ВИБРОАКТИВНОСТИ СИЛОВОГО АГРЕГАТА АВТОМОБИЛЯ ЗА СЧЕТ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОГО ПОРЯДКА РАБОТЫ ДВИГАТЕЛЯ	157
<i>А.А. Орлов</i> МЕТОДИКА ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ МНОГОПРОХОДНОЙ ОБРАБОТКИ НА СТАНКАХ С ЧПУ	160

<i>С.В. Павликов, Г.А. Шепелев</i> К МЕТОДУ ФУНКЦИОНАЛОВ ЛЯПУНОВА В ЗАДАЧЕ ОБ УСТОЙЧИВОСТИ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ С РАЗРЫВНОЙ ПРАВОЙ ЧАСТЬЮ	163
<i>А.В. Павлов</i> ОБНАРУЖЕНИЕ АНОМАЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ В РЕЛЯЦИОННЫХ БАЗАХ ДАННЫХ НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННЫХ ИММУННЫХ СИСТЕМ С ОТРИЦАТЕЛЬНЫМ ОТБОРОМ	166
<i>Д.И. Прошин</i> КОНЦЕПЦИЯ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ МЕХАНИЗМА ПОЗНАВАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ КАК ДВУХСТОРОННЕГО ПРОЦЕССА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ	169
<i>В.Л. Снежко</i> СОВРЕМЕННЫЕ СПОСОБЫ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ В ИССЛЕДОВАНИЯХ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СОПРОТИВЛЕНИЙ ТУРБУЛЕНТНЫХ ПОТОКОВ	179

АННОТАЦИИ

186

THE RELEASE MAINTENANCE

<i>The reference of the Editor-in-chief – R.H. Shagimullin</i>	8
<i>B.N. Ivanov, V.S. Minkin</i> MODERN ASPECTS OF THE ADVANCED RESONANT TECHNOLOGIES	9

PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES

<i>A.S. Andreev, O.G. Dmitrieva, U.V. Petrovicheva</i> THE STABILITY OF THE ZERO SOLUTION OF SYSTEMS WITH DISCONTINUOUS RIGHT SIDE	15
<i>A.G. Isavnin, I.I. Mirgazov</i> ASYMMETRIC STOCHASTIC RESONANCE IN A SYSTEM OF SUPERPARAMAGNETIC NANOPARTICLES	21
<i>A.A. Lopatin, V.I. Osipova, G.I. Idrisova</i> HEAT EXCHANGE INTENSIFICATION AT BOILING OF FREON R-134A ON SURFACES WITH MINI - AND MICROROUGHNESS	26
<i>O.A. Peregudova, G.A. Kamaeva</i> CONTROL OF MULTI-DOF MANIPULATORS WITH ELASTIC JOINTS ON THE BASE OF DELAYED FEEDBACK	30
<i>I.V. Sukhanov, G.V. Sukhanova</i> RELAXATION PROCESSES IN ARMCO-IRON AT PRESSURE 10 – 40 GPA	34

CHEMICAL SCIENCES

<i>I.V. Golikov, I.E. Gracheva, G.N. Kreuzberg, O.G. Kreuzberg</i> SYNTHESIS AND INVESTIGATION OF PROPERTIES COLLOIDAL SOLUTION OF SILVER NANOPARTICLES	38
---	----

ENGINEERING SCIENCE

<i>O.S. Anisimova, A.R. Barashev, S.V. Karelov, S.V. Mamyachenkov</i> POSSIBILITY OF APPLICATION COMPLEXING REAGENT FOR PROCESSING OF USED ALKALINE ACCUMULATORS	41
<i>O.S. Anisimova, S.V. Karelov, S.V. Mamyachenkov, D.A. Rogozhnikov</i> INVESTIGATED OF LEAD SELECTIVE EXTRACTION FROM NITRATE SOLUTIONS OF INTEGRATED TREATMENT OF MANY-COMPONENT SECONDARY RAW MATERIALS OF NONFERROUS METALS	44
<i>O.S. Anisimova, S.V. Mamyachenkov, S.S. Naboychenko, D. Tsogthangay</i> OPTIMIZATION OF THE NITRATE LEACHING PROCESS OF THE COPPER CONCENTRATE BY THE METHOD OF PLANNING AN EXPERIMENT	48
<i>S.A. Antonov, Y.K. Evdokimov, A.Y. Kirsanov, R.G. Nasirova, D.V. Pogodin</i> VIRTUAL INFORMATION TECHNOLOGIES AT PROFESSIONAL ORIENTATION OF TRAINERS	52
<i>I.A. Apkarov, C.C. Colosov</i> STUDY OF THE EXTERNAL FACTORS OF THE SHIP DIESELS UNDER DIFFERENT WAY OF FORMATION OF A MIX	58
<i>A.S. Afanasiev, A.S. Karpov, M.S. Mashkovtsev, O.I. Rebrin, A.S. Volkov</i> RESEARCH INFLUENCE OF HI TEMPERATURES ON THE Ce-Zr-Al-O OXIDIES SYSTEM PROPERTIES	63
<i>V.F. Bai, A.N. Krayev, A.V. Nabokov, V.V. Vorontsov</i> EXPERIMENTAL RESEARCH AND NUMERICAL MODELLING OF REINFORCED SANDY PILE IN WATER-SATURATED CLAYEY GROUND	67
<i>V.F. Bai, A.N. Krayev</i> EXPERIMENTAL RESEARCH ON MAT FOUNDATIONS BEHAVIOR ON WEAK CLAYEY SOIL REINFORCED WITH SAND CUSHION	72
<i>V.F. Becker, I.F. Kisselman</i> MATHEMATICAL MODELING OF THE ABSORPTION OF AMMONIA IN THE COLUMN WITH A ROTATING NOZZLE MOVING	76

<i>T.G. Bunkova</i> ABOUT THE OPTIMAL HARDNESS RATIO OF SOLID-ROLLED WHEEL OF FREIGHT CAR AND RAILROAD RAIL	86
<i>T.G. Vinogradova, P.M. Salov, D.P. Salova</i> QUALITY OF THE PROCESSED APERTURES AT ALEKTROKORUNDIC AND AEROBORIC GRINDING	91
<i>D.V. Vozhegov, D.A. Strabikin</i> THE PARALLEL METHOD INFERENCE WITH FACTS DETERMINATION	97
<i>V.I. Volovach</i> DEFINITION OF THE SIZES OF DETECTION ZONES OF RADIO ENGINEERING SENSORS FOR PROTECTION OF OBJECTS PERIMETERS	100
<i>E.A. Gerber, V.N. Kutrunov</i> ABOUT MOUTION OF RING OF VISCOUS INCOMPRESSIBLE CAPILLARY FLUID	105
<i>A.P. Isaev, T.I. Isgenderli, S.A. Kargin</i> DEVELOPMENT OF THE METHODS OF THE CALCULATION OF THE FACTORS WORKER CYCLE OF THE ENGINE WITH COMBINED FORMATION OF A MIX AND IGNITION FROM COMPRESSION	109
<i>V.V. Istomin, T.V. Istomina, A.V. Kireev, A.I. Safronov</i> METHODICAL SOFTWARE FOR REMOTE MULTIDIAGNOSTIC AND REHABILITATION SYSTEM FOR PATIENTS AFTER HIP REPLACEMENT	113
<i>R.V. Kargin</i> DEVELOPMENT OF BODY GARBAGE TRUCK CONSTRUCTION	116
<i>A.N. Krolevets, A.M. Makeev</i> THE PROGRAM OF REVEALING THE EARTHQUAKES HYPOCENTERS SPATIAL GROUPING PLANES	121
<i>G.V. Kuznetsov, M. Polsongram</i> WOOD BIOMASS PYROLYS PRODUCS COMPOUND DEPENDENCE FROM HEAT INFLUENCE CONDITIONS	125
<i>A.P. Levashov, V.M. Shishkin</i> MODELING OF DISPERSE ENERGY IN FIBROS COMPOSITE MATERIAL AT RESONANCE OSCILLATIONS OF THE CONSTRUCTION	130
<i>B.V. Lukutin, E.Zh. Sarsikeyev</i> RESEARCH TECHNIQUE OF WIND GENERATOR'S DYNAMIC CHARACTERISTICS	140
<i>L.A. Maltseva, T.V. Maltseva, N.N. Ozerets, K.D. Khramtsova, V.A. Sharapova</i> THE EFFECT OF THERMOPLASTIC PROCESSING ON THE MECHANICAL PROPERTIES AND RELAXATION OF METASTABLE AUSTENITIC STEEL	144
<i>A.V. Minaeva, A.V. Nabokov, I.A. Novikov</i> EXPERIMENTAL AND THEORETICAL STUDIES OF SANDY REINFORCED PILE EMBEDDED INTO WATER-SATURATED CLAY SOIL	148
<i>D.V. Nikolsky</i> THE TRANSPORT SCIENCE CONTRIBUTION TO THE DEVELOPMENT OF TECHNICAL THERMODYNAMICS. BETANCOURT AND CLAPEYRON AS THE FOUNDERS OF HEAT ENGINEERING IN RUSSIA	154
<i>D.S. Novikov, A.I. Yamanin</i> REDUCTION OF VIBRATION OF THE AUTOMOTIVE POWER UNIT BY SELECTING THE OPTIMAL ORDER OF ENGINE	157
<i>A.A. Orlov</i> METHOD OF INCREASING PRODUCTIVITY MULTIPASS MACHINING CNC	160
<i>S.V. Pavlikov, G.A. Shepelev</i> ON THE DIRECT LYAPUNOV METHOD IN STABILITY PROBLEMS OF FUNCTIONAL DIFFERENTIAL EQUATIONS WITH DISCONTINUOUS RIGHT-HAND SIDE	163
<i>A.V. Pavlov</i> ANOMALOUS ACTIVITY DETECTION IN RELATION DATABASES BASED ON ARTIFICIAL IMMUNE SYSTEMS WITH NEGATIVE SELECTION	166
<i>D.I. Proshin</i> CONCEPT PRESENTATION MECHANISM COGNITIVE ACTIVITY IN BILATERAL INTERACTION PROCESS MULTILAYER INTELLIGENT SYSTEMS	169
<i>V.L. Snezhko</i> MODERN METHODS OF DATA PROCESSING IN RESEARCH HYDRAULIC RESISTANCE OF TURBULENT FLOWS	179
ABSTRACTS	186

Слово Главного редактора



Уважаемые коллеги, здравствуйте!

В нашем журнале мы хотели бы развернуть площадку по дискуссии свободной, научно-технической, исследовательской мысли в эпоху модернизации страны на данном историческом этапе.

В данный момент в Республике Татарстан готовится большое количество специалистов по техническим, химическим и физико-математическим направлениям науки. Своей технической школой Татарстан славился всегда.

Для тех, кто выбирает науку, и движется к получению кандидатской и докторской степеней, существует большая проблема – отсутствует достаточное количество рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук. В результате поисков таких журналов, молодые ученые, теряют драгоценное время, которое они могли бы направить на дальнейшее развитие науки.

Редакция журнала «Научно-технический вестник Поволжья», в составе д.т.н., профессора И.Н. Диярова, д.т.н. профессора Б.Н. Иванова д.х.н., профессора В.С. Минкина, д.х.н., профессора Д.К. Половняка, д.х.н., профессора Х.Э. Харлампиди, к.т.н., профессора Р.Х. Шагимуллина рада представить Вам журнал, который включен ВАК РФ в перечень рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук.

Надеемся, что созданный журнал будет полезен науке России.

Главный редактор журнала

Р.Х. Шагимуллин



Борис Николаевич Иванов

Казанский государственный технологический университет,
факультет нефти и нефтехимии, кафедра общей химической
технологии,
Россия, Казань, (843) 231-42-52, ivanovbn@rambler.ru

Доктор технических наук, профессор. Профессор кафедры Общей химической технологии Казанского государственного технологического университета (КГТУ); директор совместного НОЦ КГТУ и ОАО «Татнефтехиминвест-холдинг» «Волновые процессы и технологии», руководитель совместной лаборатории «Волновые технологии».

Специалист в области методологии, терминологии, развития теоретических и технологических аспектов волновых инноваций в процессах добычи, подготовки и переработки нефти на базе вещественно-волновой природы материальных систем.

Включен во Всероссийскую Энциклопедию «Ученые России» и Энциклопедию Татарстана. Награжден несколькими Почетными грамотами.

Автор более 160 научно-технических трудов, в том числе 15 изобретений и патентов, нескольких учебных пособий и монографии «Волновые процессы и технологии добычи и подготовки нефти».



Владимир Самуилович Минкин

Казанский государственный технологический университет,
факультет наноматериалов и нанотехнологий, кафедра физики,
Россия, Казань, (843) 231-41-80, yerus@yandex.ru

Доктор химических наук, профессор. Заслуженный деятель науки Республики Татарстан (РТ), Почетный работник высшего профессионального образования РФ, «Изобретатель СССР». Награжден шестью медалями СССР и РФ, различными отраслевыми наградами и знаками. Вошел в энциклопедию «Who is who in Russia».

Окончил физический факультет Казанского государственного университета.

Место работы – Казанский государственный технологический университет, кафедра физики (с 1970г.).

Область научных интересов: применение методов магнитной спектроскопии для изучения структуры, фазового состава, молекулярной подвижности нефтей и нефтепродуктов, природных битумов. Исследование структуры и свойств серосодержащих композиционных материалов на основе жидких тиоколов. Разработка новых приборов для экспресс-анализа, группового состава высоковязких нефтей и природных битумов.

Общее количество публикаций – 490, из них 4 научных монографии в издательствах «Наука» и «Новое знание», 12 авторских свидетельств и патентов, 35 учебно-методических пособий.

СОВРЕМЕННЫЕ АСПЕКТЫ ПРОРЫВНЫХ РЕЗОНАНСНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Перспектива волновых воздействий – *резонансные технологии*. Фундаментом последних является дифференциация и интеграция процессов в природных и техногенных системах. Их взаимосвязь обусловлена единой вещественно-волновой природой. Новизна теоретических и технических решений в ходе их создания определяется *синергизмом* сочетания.

Ключевые слова: вещественно-волновая природа, резонансные технологии, дифференциация и интеграция явлений.

Единая вещественно-волновая природа материальных образований и их различных взаимодействий является основой современных прорывных резонансных технологий [1]. В настоящее время объективно растут информационный и квалификационный (в том числе, интеллектуальный) ресурсы. Именно они и определяют степень эффективности созданных технологий и производств по получению и использованию материальных ресурсов. При этом роль интеллектуального ресурса проявляется не столько в выработке принципиально новых теоретических положений и технических решений (такое почти невозможно и, главное, *ненужно*), сколько в *синергизме* их глубины, сочетания, очередности и соотношения.

Научный подход к разработке теоретических аспектов технических решений затруднен отсутствием единой по толкованию физического смысла терминологии. Нами [2] уже предпринималась попытка восполнить этот пробел. С тех пор сформулированные термины прошли определенную апробацию. Наряду с фундаментальными постулатами использовались следующие: противоречивость не только неуничтожима в целом, но и не может быть *абсолютного* перехода одного вида противоречий в другой; качество при переходе в новое качество частично сохраняет *количественно* основной структурный элемент.

Сформулированные постулаты уточняют ряд важных для практики понятий:

- *процесс* – переход рассматриваемой системы из одного состояния в другое;
- *время* – объективный относительный параметр, характеризующий, прежде всего, очередность событий и их соотношение.
- *поле* – как и всякое материальное образование характеризуется наличием частиц с массой покоя;
- *энергия* (от греч. *energeia* – действие) – в наиболее широком смысле есть *мера противоречивости*. При этом не система *обладает* энергией, а систему *характеризуют* энергией. В относительно узком смысле под обменом энергией следует подразумевать *оценку* обмена материальными образованиями движением и веществом (вещество является носителем движения).

Если абстрагироваться от типов химической и физической связей, ясно, что они имеют вещественно-волновую природу (ВВП) и их общность проявляется в едином носителе, а основное различие – в величине этого носителя, скорости и количества его движения. ВВП предполагает, что, «носителями» волн будут, прежде всего, материальные частицы.

Среди всех возможных «первопричин» того или иного типов взаимодействия наиболее ясной для понимания, по нашему мнению, является гравитация. Неслучайно, закон электростатического взаимодействия Кулона, положенный в основу большинства современных воззрений на суть химической связи, математически записывается идентично закону всемирного тяготения Ньютона. Самыми сильными являются ядерные взаимодействия. Они условно приняты за единицу. Электромагнитное взаимодействие имеет константу $1/137$, гравитационное – 10^{-40} , а константа спинторсионного взаимодействия оценивается величиной от 10^{-50} до 10^{-66} . Однако, при использовании геометрии Ричи

оказалось, что процессы, связанные с торсионными полями, весьма интенсивны. В частности, константа взаимодействия электроторсионных полей составила – 10^{-3} – 10^{-4} .

При оценке влияния гравитационного взаимодействия не учитывается целый ряд обстоятельств. Роль "гравитационного заряда", создающего поле тяготения играет масса тела. Естественно, в процессах в земной коре и на поверхности земли последняя может быть очень большой. Ещё важнее помнить о так называемом, гравитационном радиусе Земли (радиусе сферы, на которой сила тяготения, создаваемая массой m целиком лежащей внутри этой сферы, стремится к ∞). Для Земли $r_g \approx 0,9$ см. Следовательно, первопричиной всех материальных видов движения в недрах, на поверхности и около поверхности Земли была гравитация. По мере расширения и развития Земли от точечного пространства до современного состояния происходило и трансформирование исходного вида взаимодействия в новые: магнитные, электрические, химические и др. Все они разновидности торсионных полей.

Торсионные поля могут порождаться геометрическими и топологическими фигурами ("эффект формы"). Это обстоятельство породило иллюзию, что торсионные поля могут возникать тогда, когда самого источника нет, и не было вовсе (!). Это уже некая эзотерическая ситуация. Торсионные излучения, очевидно, возникли с момента и в результате образования и развития Галактики.

Не беремся утверждать о всеобъемлющей роли гравитации в химических процессах, но возможно, именно асимметрия частот и амплитуд гравитационных колебаний и обуславливает неполярные, полярные и химические взаимодействия в ассоциативных системах. Если это положение верно, то оно объясняет многие нетрадиционные технологии и открывает путь к созданию новых.

Исходя из динамики генетического единства нано- и супрамолекулярной структуры и вследствие этого проявления пространством Вселенной свойств голограммы (гипотеза В. К. Аблекова), целесообразна разработка комплекса мероприятий по повышению эффективности разведки нефтяных месторождений с применением торсионных полей (рис. 1) [1]. Последнее в разы сокращает расходы на нефтеразведку.

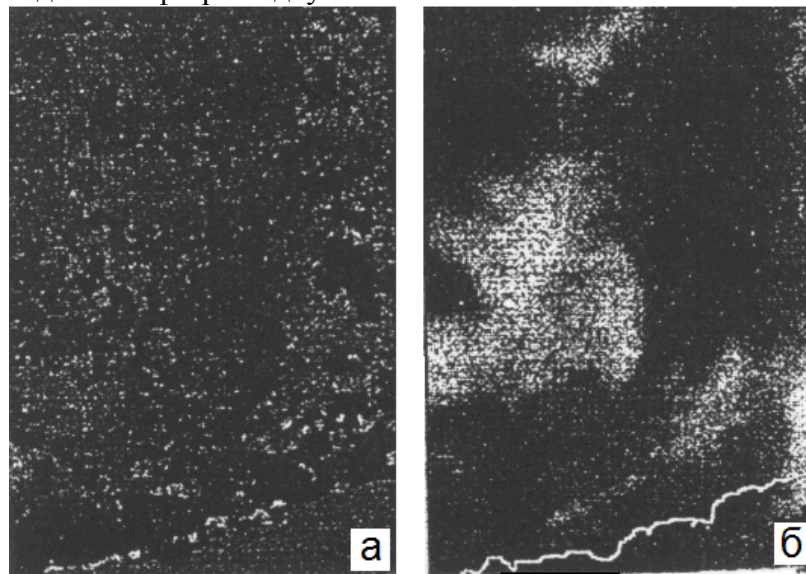


Рис. 1– Космический снимок участка, содержащего месторождение нефти (а) и результаты его обработки (б)

Результаты волновых обработок нефтяных, водных, полимерных и биохимических систем проиллюстрируем на нефтесодержащих системах. Конечная цель – определение на основе исследования надмолекулярной и нанокластерной ассоциативной структуры

жидкофазных нефтесодержащих образований резонансных частот колебаний и рациональных режимов волновых воздействий.

Природа генератора и генерируемых волн определяется типом, степенью техногенного влияния и функциональным назначением объекта воздействия. Высокочастотные колебания ведут к образованию систем, подобных моделям Лилла. Последние образуются и при механо-магнитной обработке и ректификации светлых и темных нефтепродуктов. В месторождения РТ закачено более 51 млрд. т. воды и водных растворов ПАВ, поэтому представляется целесообразным при добыче нефти в качестве носителя волн применять жидкости, а генератора – пульсационную гидродинамическую установку. Применение высокочастотного электромагнитного воздействия для обработки нефтеносного пласта нецелесообразно. С целью повышения технологичности извлечения битумной нефти предлагается использование первоначальной (в течение нескольких лет) обработки пластов острым паром, содержащим каталитические ингредиенты, возбуждающих на *наноуровне* ионы металлов в породах коллектора, в сопутствующей воде и металлорганических комплексах нефти и нефтебитумов. Для практически полного разрушения особо прочных нефтяных эмульсий целесообразно применение импульсного разрежения, а для их упрочнения – высокочастотное электромагнитное воздействие. В нефтехимии предлагается осуществлять: импульсно-пульсационное окисление нефтяных парафинов и получение высокооктановых (ОЧ более 110) фазоустойчивых автомобильных топлив на базе этанола и нефтяных бензиновых фракций.

Перспективы волновых воздействий состоят в создании *резонансных технологий*.

В общем значении – это использование побочных явлений для осуществления целевых процессов; в конкретном – определение резонансных частот колебаний ключевых компонентов, их взаимодействий и разработка на этой основе рациональных технологий. Фундаментом всех резонансных технологий являются дифференциация и интеграция явлений в природных и техногенных системах, взаимосвязь которых определяется посредством сопряженного физико-математического моделирования на базе вещественно-волновой природы материальных образований и их взаимодействиях.

Для жидкофазных процессов характерен парадокс: представляя собой взаимодействие нестехиометрических соединений, они достаточно корректно описываются стехиометрическими уравнениями реакций. По-видимому, в жидкостях химические и физические взаимодействия в основном осуществляется посредством ингредиентов поверхностных слоев ассоциатов, включающих громадное число молекул. Эти структурные единицы взаимодействуют между собой и структурными единицами других систем.

Молекулы, как известно, не имеют сферической формы, а их ассоциаты могут иметь. По мнению авторов, ассоциаты «входят» друг в друга (либо, «отталкиваются») «минимумами» и «максимумами» своих поверхностных слоев, образованными функциональными группами, радикалами или отдельными связями. Подобная гипотеза позволяет рассматривать взаимодействие смешиваемых жидких систем как взаимодействие их «внутренних» поверхностных слоев.

Точный количественный расчет этого взаимодействия невозможен. Прежде всего, вследствие колебания интенсивностей движения и удельных поверхностей смешиваемых систем. Поэтому желательно использовать обобщенные показатели. В качестве «*критериев смешения*» (K_{CMI}) можно принять соотношения типа:

$$\frac{\sqrt[3]{\mu_i \cdot C_i \cdot T_i}}{V_i} ; \frac{\sqrt[3]{\mu_i \cdot C_i \cdot T_i}}{m_i} ; \frac{\sqrt[3]{\mu_i \cdot C_i \cdot T_i}}{m_i/V_i} = \frac{\sqrt[3]{\mu_i \cdot C_i \cdot T_i}}{\rho_i}, \quad (1)$$

где C_i – теплоемкость, μ_i – вязкость, T_i – температура фазового перехода, m_i – масса, V_i – объем, ρ_i – плотность.

Еще А. М. Бутлеров отмечал: «Быть может, не ошибется тот, кто назовет движением все виды химизма. Если наступит время, которое уяснит причинную связь между всеми видами этого движения, то явления химизма получат свою механическую теорию».

В этой связи, представляет теоретический и практический интерес определение прямой связи изменения скорости химической реакции (ΔV_r) с изменениями, скоростей движения составляющих реакцию систему частиц (ΔW_i), что позволит предложить новые методы повышения интенсивности и селективности химико-технологических процессов. Отправными посылами могут быть следующие: энергию активации можно разложить на $\overline{\Delta E_1}$ и $\overline{\Delta E_2}$, где $\overline{\Delta E_1}$ – энергия, характеризующая изменения состояния микро- и элементарных частиц, составляющих систему, без выхода их за пределы спектра устойчивого собственного движения; $\overline{\Delta E_2}$ – энергия, являющаяся мерой процессов, сопровождающихся обменом веществ, их перемещением, выхода вещества (микро- и элементарных частиц) за пределы спектра собственного движения, сочетанием этих процессов (то есть *работа* ($\bar{A}$)). Выразив работу через силу (F) и величину перемещения l носителя (масса его определяется уровнем рассматриваемого процесса), получим

$$\bar{A} \rightarrow F \cdot l \rightarrow m \cdot \frac{W}{\Delta \tau} \cdot W \cdot \Delta \tau \rightarrow m \cdot W^2, \quad (2)$$

Далее ΔV_r через $K = K_0 \cdot \bar{e}^{\frac{\overline{\Delta E_1} + \bar{A}}{RT}}$ можно связать с ΔW .

Перед формулированием задач, стоящих перед нами, считаем необходимым привести краткую справку о состоянии развития резонансных технологий на настоящее время.

Основоположниками современной теории вещественно-волновой природы материальных систем являются:

М. В. Ломоносов (в 1741-1747 гг.);

И. Г. Павлов (1816-1819 гг.);

Б. Н. Чичерин (1885-1887 гг.);

Н. Бор, А. Зоммерфельд (1911 - 1913);

Л. де Бройль, В. К. Гейзенберг, Э. Шредингер (1923-1926 гг.).

Э. Картан в 1913 выдвинул гипотезу, что «в природе должны существовать поля, порожденные плотностью углового момента вращения».

Р. Утияма (20-ые годы XX века) указывал: «первичными источниками всех полей являются элементарные частицы».

В. К. Аблеков, Г. И. Шипов, А. Е. Акимов – 70-е – 90-е годы XX века.

Состояние данного направления в СССР, РФ и КГТУ (КХТИ) можно охарактеризовать следующими примерами.

В СССР уже в начале 60-ых годов XX-го века на 120 скважинах треста «Азнефть» успешно применялись магнитные вставки.

Теоретическим обоснованием применения магнитных, электрических, электромагнитных и радиоактивных полей занимались В. И. Классен, Г. М. Панченков и др.

В середине 80-х годов прошлого столетия был создан Всесоюзный центр «Волна» под руководством акад. В. А. Котельникова и чл.-корр. Р. Ф. Ганиева. В настоящее время, данными вопросами активно занимаются Ф. Г. Унгерн, Б. П. Туманян, Н. А. Пивоварова и др.

К сожалению, созданный центр «Волна» в начале имел очень узкую направленность своей деятельности (в основном, гидро- и аэродинамическое волновое воздействие), а затем, практически, не функционировал до середины 1-го десятилетия XXI-го века.

В КХТИ (КГТУ) практическими аспектами волновых воздействий с 80-х годов XX-го века занимаются: И. Ф. Садыков, Б. Н. Иванов, В. С. Минкин, В. П. Барабанов, Р. С. Кашаев, Р. Ф. Хамидуллин; с 90-х годов – А. Ф. Махоткин, А. Г. Лиакумович, Х. Э. Харлампыди, И.

Ш. Абдуллин; с начала XXI-го века – И. Н. Дияров, Р. З. Фахрутдинов, А. Ф. Кемалов, Р. А. Галимов и др..

Для координации работ по нашей инициативе при активной поддержке ректора КГТУ профессора Г. С. Дьяконова, проректора по научной работе профессора И. Ш. Абдуллина и генерального директора ОАО «Татнефтехиминвест-холдинг» профессора Р. С. Яруллина организована совместная лаборатория «Волновые технологии» (руководитель профессор Б. Н. Иванов).

Лабораторией на ближайшие годы запланировано:

- создание испытательного Стенда определения резонансных частот;
- на основе определения резонансных характеристик нефтесодержащих, полимерных и биохимических систем *коррекция*:

- совмещенных технологий переработки тяжелых карбоновых нефтей, нефтешламов, битуминозных песчаников;
- рациональной методологии выбора эффективных ПАВ для интенсификации добычи и подготовки нефти (на базе их надмолекулярной и наноструктуры);
- технологий аэро- и гидродинамических, акустических и электромагнитных методов интенсификации добычи и подготовки нефти, процессов полимеризации и диффузии;
- получения фазоустойчивых высокооктановых моторных топлив на базе растительных и нефтяных ресурсов.

РЕЗЮМЕ

В настоящей статье освещено лишь одно направление, предопределяющее решение многих химико-технологических задач, имеющих широкий практический выход.

Мы надеемся, что в новом журнале будут рассматриваться многие теоретические и практические аспекты различных областей технической и прикладной химии, и приглашаем учёных и специалистов принять активное участие в формировании портфеля Редакции «Научно-технического вестника Поволжья». Особенно приятно открывать новый журнал в Международный год Химии.

Список литературы:

1. *Иванов Б. Н.* Качественный подход к оценке реакционной способности материальных образований. Сообщение 1. Исходные посылки // ВИНТИ. – 1987. – № 2338-В87.
2. *Иванов Б. Н.* Волновые процессы и технологии добычи и подготовки нефти.

А.С. Андреев д.ф-м.н., О.Г. Дмитриева, Ю.В. Петровичева

Ульяновский государственный университет,
факультет математики и информационных технологий,
кафедра информационной безопасности и теории управления,
Россия, Ульяновск, (842) 232-20-22, mtu@ulsu.ru

ОБ УСТОЙЧИВОСТИ НУЛЕВОГО РЕШЕНИЯ СИСТЕМЫ С РАЗРЫВНОЙ ПРАВОЙ ЧАСТЬЮ

Изучение динамики релейных систем управления приводит к исследованию систем дифференциальных уравнений с разрывными правыми частями [3-5]. В работе дается развитие прямого метода Ляпунова исследования устойчивости таких систем в направлении применения знакопостоянных функций Ляпунова.

Ключевые слова: релейная система, нелинейность, устойчивость, функция Ляпунова.

1. Определение уравнения.

Рассмотрим систему, описываемую дифференциальными уравнениями

$$\dot{x} = f(t, x), \quad (1.1)$$

$x \in R^n, R^n$ – n -мерное действительное линейное пространство с некоторой нормой $\|x\|$, функция $f = f(t, x)$ определена в области $R \times D$, $D = \{x \in R^n : \|x\| < H, 0 < H \leq +\infty\}$, $f(t, 0) \equiv 0$, так что система (1.1) имеет нулевое решение $x(t) \equiv 0$. Будем полагать, что f является кусочно-непрерывной, а именно, область D при каждом $t \in R$ представима в виде $D = D_0 \cup M$, $D_0 = D_1 \cup D_2 \cup \dots \cup D_l$, где D_j – некоторые подобласти, M есть их граница меры нуль, $\{x = 0\} \in M$, в каждой подобласти $R \times D_j$ ($j = \overline{1, l}$) функция $f(t, x)$ непрерывна, а также удовлетворяет условию Липшица локально по x .

Множество M является множеством разрыва f , при этом для каждого фиксированного $t \in R$ функция f имеет конечный предел, $f(t, x_k) \rightarrow f_0 = \text{const}$ для каждой последовательности $x_k \rightarrow x_0 \in M$, с возможными различными значениями f_0 в зависимости от выбора последовательности $x_k \rightarrow x_0$.

Введем многозначную функцию $F = F(t, x)$, такую, что $F(t, x) = f(t, x)$ для $(t, x) \in R \times D$, $F(t, x)$ доопределяется на множестве M согласно доопределениям а), б), в) из [5], таким образом, что на каждом отрезке $[t_0, t_1]$, $(t_0 < t_1)$ множество $\{F(t, x); t_0 \leq t \leq t_1, x \in D\}$ замкнуто и выпукло, $F(t, x)$ β – непрерывна по (t, x) [5].

В соответствии уравнению (1.1) можно рассмотреть дифференциальное включение

$$\dot{x} \in F(t, x) \quad (1.2)$$

для каждой точки $(t_0, x_0) \in R \times D$ которого можно найти решение $x = x(t)$, $x(t_0) = x_0$, продолжимое до границы ∂D области D .

Включение (1.2) также будет иметь нулевое решение $x(t) \equiv 0$, которое будем считать единственным для точки $(t_0, 0), t_0 \in R$. Отсюда следует, что для этого решения имеет место непрерывная зависимость от начальных условий [5].

2. Топологическая динамика уравнения (1.1).

Для простоты изложения будем полагать, что множество M определяется векторным уравнением вида

$$\Phi(t, x) = 0$$

$\Phi = (\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_l)$, где функции $\Phi_j(t, x)$ являются ограниченными, равномерно непрерывными по $(t, x) \in R \times D$. Отсюда для семейства сдвигов $\{\Phi_\tau(t, x) = \Phi(t + \tau, x)\}$ можно найти множество предельных функций $\Phi^*(t, x)$ [7]

$$\Phi^*(t, x) = \lim_{k \rightarrow \infty} \Phi(t_k + t, x), \quad t_k \rightarrow +\infty,$$

соответственно определить множество $M^* = \{(t, x) \in R \times D : \Phi^*(t, x) = 0\}$ как границу области $D_0^* = D_1^* \cup \dots \cup D_l^*$.

Допустим дополнительно, что функция $f(t, x)$ удовлетворяет в каждой области $R \times \bar{D}_j$ условию Липшица по x равномерно относительно t ,

$$\|f(t, x_2) - f(t, x_1)\| \leq L_j \|x_2 - x_1\|$$

Тогда в силу условия $f(t, 0) = 0$ функция f ограничена в области $\bar{D}_0$ и для системы (1.1) можно построить семейство предельных к (1.1) систем [6]

$$\dot{x} = f^*(t, x), \quad f^*(t, x) = \frac{d}{dt} \lim_{k \rightarrow \infty} \int_0^t f(t_k + \tau, x) d\tau, \quad t_k \rightarrow +\infty.$$

с областью определения $R \times D_0^*$.

Аналогично случаю (f, F) доопределим функцию $f^*(t, x)$ до многозначной функции $F^*(t, x)$ в точках множества M^* , дополнив при необходимости множество значений $F^*(t, x)$ предельными значениями $F(t, x)$ по последовательностям $\{t_k + t, t_k \rightarrow +\infty, t \in R\}$ и $\{x_k \rightarrow x^* \in M^*\}$.

Введем семейство предельных включений

$$\dot{x} \in F^*(t, x), \tag{2.1}$$

для которых также выполнены условия существования решений для каждой точки $(t_0, x_0) \in R \times D$.

Имеет место следующее свойство квазиинвариантности положительного предельного множества ω^+ решения $x = x(t)$ уравнения (1.1) с разрывной правой частью.

Теорема 1. Пусть $x = x(t)$, $x(t_0) = x_0$ есть некоторое решение уравнения (1.2), определенное и ограниченное компактом $K \subset D$ при всех $t \geq t_0$. Тогда для каждой предельной точки $p \in \omega^+(x(t))$ этого решения существует некоторое предельное включение $\dot{x} \in F^*(t, x)$ и некоторое решение этого включения $x = x^*(t)$, $x^*(0) = p$, определенное при всех $t \in R$, такое, что $\{x^*(t), t \in R\} \subset \omega^+(x(t))$ для всех $t \in R$.

Теорема 1 является обобщением для неавтономного дифференциального уравнения соответствующей теоремы из [6].

3. Развитие прямого метода Ляпунова. Классические теоремы Ляпунова из [2,5] могут быть обобщены на основании построенной в п.2 топологической динамики. Для этого введем следующие построения.

Для функции $V(t, x) \in C^1(R \times D)$, $V(t, 0) = 0$, $V(t, x) \geq 0$, верхняя производная в силу уравнения (1.2) [5] определяется равенством

$$\dot{V}^* \equiv \left(\frac{dV}{dt} \right)^* = \sup_{y \in F(t, x)} \left(V_t + \sum_{i=1}^n \frac{\partial V}{\partial x_i} y_i \right) \quad (3.1)$$

Соответственно для каждого решения (1.2) $x=x(t)$ будет существовать производная

$$\dot{V} \equiv \frac{d}{dt} V(t, x(t)) = V_t + \sum_{i=1}^n \frac{\partial V}{\partial x_i} x_i(t),$$

при этом эта производная удовлетворяет неравенству $\dot{V} \leq \dot{V}^*$.

Будем предполагать, что производная $\dot{V}^*(t, x)$, определяемая из (3.1) для всех $(t, x) \in R \times D$ оценивается неравенством

$$\dot{V}^*(t, x) \leq -W(t, x) \leq 0, \quad (3.2)$$

где функция $W(t, x)$ ограничена, равномерно непрерывна на множестве $R \times K$, а именно, для каждого компактного множества $K \subset D_H$ существует $m = m(K) > 0$ и для каждого малого $\varepsilon > 0$ найдется $\delta = \delta(\varepsilon, K) > 0$, такие что для всех $(t, x) \in R^+ \times K$, (t_2, x_2) и $(t_1, x_1) \in R^+ \times K$, удовлетворяющих соотношениям

$$|t_2 - t_1| < \delta, \quad |x_2 - x_1| < \delta$$

выполнены неравенства

$$W(t, x) \leq m(K), \quad |W(t_2, x_2) - W(t_1, x_1)| < \varepsilon.$$

Для семейства сдвигов $\{W_\tau(t, x) = W(\tau + t, x), \tau \in R\}$, следуя [1], можно ввести семейство предельных функций

$$W^*(t, x) = \lim_{t_{k_l} \rightarrow +\infty} W(t_{k_l} + t, x)$$

Можно определить, что предельное к уравнению (1.2) уравнение (2.1) и предельная к функции $W = W(t, x)$ функция $W^* = W^*(t, x)$ образуют предельную пару (F^*, W^*) , если они являются предельными для одной и той же последовательности $t_k \rightarrow +\infty$. Введем также множество

$$V_\infty^{-1}(t, c) = \{(t, x) : V(t_k + t, x_k) \rightarrow c \text{ для } x_k \rightarrow x\},$$

соответствующее паре (F^*, W^*) .

Обозначим через $M^+((F^*, W^*))$ множество, образуемое всеми решениями уравнения (2.1), лежащими на всем своем интервале определения в множестве $\{V_\infty^{-1}(t, c) : c = \text{const}\} \cap \{W^*(t, x) = 0\}$; $M_*^+((F^*, W^*))$ – объединение $M^+((F^*, W^*))$ по всем (F^*, W^*) .

Имеются следующие результаты о локализации положительного предельного множества решения уравнения (1.2) и устойчивости его решения $x = 0$.

Теорема 2. Предположим, что существует функция $V = V(t, x), V \in C^1$, удовлетворяющая условию (3.2). Тогда для любого решения (1.2) $x = x(t), x(t_0) = x_0$, определенного для всех $t \geq t_0$ и ограниченного компактом $K \subset D_0$, множество его предельных точек удовлетворяет соотношению $\omega^+ \subset M_*^+(\{(F^*, W^*)\})$, при этом решение неограниченно приближается к сечению множества $M_*^+(\{(F^*, W^*)\})$ некоторым значением $c = c_0 = \text{const}$.

Теорема 3. Предположим, что:

1) существует определено-положительная функция $V = V(t, x), V(t, 0) = 0$

$$V(t, x) \geq a(|x|);$$

2) производная функции V в силу (1.2)

$$\dot{V}^*(t, x) \leq -W(t, x) \leq 0;$$

3) для любой предельной пары (F^*, W^*) множество $\{W^*(t, x) = 0\}$ не содержит никаких решений $\dot{x} \in F^*(t, x)$, кроме $x = 0$.

Тогда решение $x = 0$ уравнения (1.2) асимптотически устойчиво.

В теореме через $a: R^+ \rightarrow R^+$ обозначена функция типа Хана.

Теорема 4. Предположим, что:

1) существует определено-положительная, допускающая бесконечно малый высший предел функция $V = V(t, x)$,

$$a_1(|x|) \leq V(t, x) \leq a_2(|x|);$$

2) производная функции V в силу (1.2)

$$\dot{V}^*(t, x) \leq -W(t, x) \leq 0;$$

3) существует хотя бы одна предельная пара (F_0^*, W_0^*) , такая что множество $\{W_0^*(t, x) = 0\}$ не содержит никаких решений $\dot{x} \in F^*(t, x)$, кроме $x = 0$.

Тогда решение $x = 0$ уравнения (1.2) эквивалентно асимптотически устойчиво, т.е. асимптотически устойчиво равномерно по x_0 .

Теорема 5. Предположим, что:

1) существует определено-положительная, допускающая бесконечно малый высший предел функция $V = V(t, x)$,

$$a_1(|x|) \leq V(t, x) \leq a_2(|x|);$$

2) производная функции V в силу (1.2)

$$\dot{V}^*(t, x) \leq -W(t, x) \leq 0;$$

3) для любой предельной пары (F_0^*, W_0^*) множество $\{W^*(t, x) = 0\}$ не содержит никаких решений системы $\dot{x} \in F^*(t, x)$, кроме $x = 0$.

Тогда решение (1.2) $x = 0$ равномерно асимптотически устойчиво.

Будем определять, что нулевое решение $x=0$ устойчиво относительно выбранной предельной пары (F^*, W^*) и множества $V_\infty^{-1}(t, 0)$, если $(\forall \varepsilon > 0) (\exists \delta = \delta(\varepsilon) > 0)$ (для каждого решения $x = x^*(t)$, $x^*(0) = x_0$, $x_0 \in \{|x| < \delta\} \cap V_\infty^{-1}(0, 0) \cap \{W^*(0, x) = 0\}$ уравнения $\dot{x} \in F^*(t, x)$ $(\forall t \geq 0)$ $\|x^*(t)\| < \varepsilon$).

Нулевое решение $x=0$ асимптотически устойчиво относительно выбранной предельной пары (F^*, W^*) и множества $V_\infty^{-1}(t, 0)$, если оно устойчиво, а также $(\exists \Delta > 0) (\forall \varepsilon > 0) (\exists T = T(\varepsilon) > 0)$ (для каждого решения $x = x^*(t)$, $x^*(0) = x_0$, $x_0 \in \{|x| < \Delta\} \cap V_\infty^{-1}(0, 0) \cap \{W^*(0, x) = 0\}$ уравнения $\dot{x} \in F^*(t, x)$ $(\forall t \geq T)$ $\|x^*(t)\| < \varepsilon$).

Нулевое решение $x=0$ равномерно устойчиво относительно семейства $\{(F^*, W^*), V_\infty^{-1}(t, 0)\}$, если указанное выше число $\delta = \delta(\varepsilon) > 0$ не зависит от выбора (F^*, W^*) .

Нулевое решение $x=0$ равномерно асимптотически устойчиво относительно семейства $\{(F^*, W^*), V_\infty^{-1}(t, 0)\}$, если также числа $\Delta > 0$ и $T = T(\varepsilon) > 0$ не зависят от выбора (F^*, W^*) .

Теорема 6. Предположим, что:

- 1) существует функция $V: R^+ \times D_H \rightarrow R^+$ с производной $\dot{V}^*(t, x) \leq -W(t, x) \leq 0$;
- 2) нулевое решение $x=0$ равномерно асимптотически устойчиво относительно семейства $\{(F^*, W^*), V_\infty^{-1}(t, 0)\}$.

Тогда решение $x=0$ уравнения (1.2) устойчиво.

Замечание 1. Если в дополнение к условиям теоремы функция $V(t, x)$ допускает бесконечно малый высший предел, т.е. $V(t, x) \leq a(|x|) \quad \forall (t, x) \in R^+ \times D_0$, то эта устойчивость является равномерной.

Теорема 7. Предположим, что при условиях 1) и 2) теоремы 6 функция $V(t, x)$ допускает бесконечно малый высший предел, $V(t, x) \leq a(|x|) \quad \forall (t, x) \in R^+ \times D_0$, а также:

- 3) для каждой предельной пары (F^*, W^*) множество $\{V_\infty^{-1}(t, c) : c = c_0 = \text{const} > 0\} \cap \{W^*(t, x) = 0\}$ не содержит никаких решений $\dot{x} \in F^*(t, x)$.

Тогда решение $x=0$ уравнения (1.2) равномерно асимптотически устойчиво.

При решении ряда задач условия 2) или 3) теорем 6 и 7 могут являться следствием аналогичных условий для исходного уравнения. Укажем такие следствия, исходя из следующих определений.

Решение $x=0$ уравнения (1.2) равномерно устойчиво относительно множества $\{V(x) = 0\}$, если $(\forall \varepsilon > 0) (\exists \delta = \delta(\varepsilon) > 0) (\forall t_0 \in R^+) (\forall x_0 \in \{\|x\| < \delta\} \cap \{V(x) = 0\}) (\forall t \geq t_0) \|x(t)\| < \varepsilon$.

Решение $x = 0$ уравнения (1.2) равномерно асимптотически устойчиво относительно множества $\{V(x) = 0\}$, если оно равномерно устойчиво, а также $(\exists \Delta > 0) (\forall \varepsilon > 0) (\exists T = T(\varepsilon) > 0) (\forall x_0 \in \{\|x\| < \Delta\} \cap \{V(x) = 0\}) (\forall t_0 \in R^+) (\forall t \geq t_0 + T) \|x(t)\| < \varepsilon$.

Лемма 1. Пусть функция V зависит явно только от x , $V = V(x)$. Можно показать, что если решение $x = 0$ уравнения (1.2) в теоремах 6 и 7 равномерно асимптотически устойчиво относительно множества $\{V(x) = 0\}$, тогда выполняется условие 2) этих теорем.

Решение $x = 0$ уравнения (1.2) равномерно устойчиво относительно множества $\{V(t, x) = 0\}$, если $(\forall \varepsilon > 0) (\exists \delta_1 = \delta_1(\varepsilon) > 0, \delta_2 = \delta_2(\varepsilon) > 0) (\forall t_0 \in R^+) (\forall x_0 \in \{\|x\| < \delta_2\} \cap \{V(t_0, x) < \delta_1\}) (\forall t \geq t_0) \|x(t)\| < \varepsilon$.

Решение $x = 0$ уравнения (1.2) равномерно асимптотически устойчиво относительно множества $\{V(t, x) = 0\}$, если оно равномерно устойчиво и $(\exists \Delta_1 > 0) (\exists \Delta_2 > 0) (\forall \varepsilon > 0) (\exists T = T(\varepsilon) > 0) (\forall t_0 \in R^+) (\forall x_0 \in \{\|x\| < \Delta_2\} \cap \{V(t_0, x) = \Delta_1\}) (\forall t \geq t_0 + T) \|x(t)\| < \varepsilon$.

Лемма 2. Можно показать, что если решение $x = 0$ уравнения (1.2) равномерно асимптотически устойчиво относительно множества $\{V(t, x) = 0\}$, тогда условия 2) теорем 6 и 7 выполнены.

Полученные результаты представляются эффективными методами решения задач о стабилизации движений механических систем релейными управлениями.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ (проект МД-7549.2010.1), АВЦП «Развитие научного потенциала высшей школы» (проект № 2.1.1/11180) и ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» (гос. контракт № П/2230).

Список литературы:

- 1 Андреев А.С. Об асимптотической устойчивости и неустойчивости неавтономных систем / А.С. Андреев // ПММ. – 1979. – Т. 49, Вып. 5. – С. 796-805.
- 2 Алимов Ю.И. О применении прямого метода Ляпунова к дифференциальным уравнениям с неоднозначными правыми частями / Ю.И. Алимов // Автоматика и телемеханика. 1961. № 7. С.817-830.
- 3 Барбашин Е.А., Алимов Ю.И. К теории релейных дифференциальных уравнений / Е.А. Барбашин, Ю.И. Алимов // Известия ВУЗов. Математика. 1962. №1. С. 3-13.
- 4 Уткин В.И. Скользящие режимы в задачах оптимизации и управления / В.И. Уткин // М.: Наука. 1981. 368 с.
- 5 Филиппов А.Ф. Дифференциальные уравнения с разрывной правой частью / А.Ф. Филиппов // М.: Наука. 1985. 224 с.
- 6 Artstein Z. Topological dynamics of ordinary differential equations / Z. Artstein // J. Differ. Equat. – 1977. – V. 23, № 2. – P. 216-223.
- 7 Sell G.R. Nonautonomous differential equations and topological dynamics. 1, 2 / G.R. Sell // Trans. Amer. Math. Soc., 1967. – V. 22. – P. 254-269.

А.Г. Исавнин д.ф.-м.н., И.И. Миргазов

Казанский (Приволжский) федеральный университет (филиал в городе Набережные Челны)
Факультет прикладной математики и информационных технологий,
Россия, Набережные Челны
isavnin@mail.ru

АСИММЕТРИЧНЫЙ СТОХАСТИЧЕСКИЙ РЕЗОНАНС В СИСТЕМЕ СУПЕРПАРАМАГНИТНЫХ НАНОЧАСТИЦ

Теоретически рассмотрено явление стохастического резонанса в системе однодоменных наночастиц с магнитной анизотропией типа «легкая ось» при наличии дополнительного постоянного поля, приложенного под произвольным углом. Расчеты выполнены в рамках модели дискретных ориентаций для теплового надбарьерного режима перемагничивания. Вычислено выходное отношение сигнала к шуму в зависимости от различных параметров системы.

Ключевые слова: стохастический резонанс, динамическая магнитная восприимчивость, однодоменные суперпарамагнитные наночастицы.

Явление стохастического резонанса, заключающееся в прохождении через максимум отклика бистабильной системы на слабый периодический сигнал при равномерном увеличении шума в системе, довольно подробно изучено для ансамбля магнитных наночастиц [1-3]. В работе [4] были найдены компоненты динамической магнитной восприимчивости для суперпарамагнитных частиц в условиях приложения дополнительного постоянного магнитного поля, характеризующей отклик системы на слабое периодическое внешнее возмущение.

Здесь мы представляем расчеты для нахождения еще одной важной характеристики стохастического резонанса для легкоосных суперпарамагнитных частиц – выходного отношения сигнала к шуму. Сопоставим по аналогии с [1,2] входному сигналу и шуму соответственно радиочастотное поле и температуру образца, а на выходе системы будем рассматривать изменение ее магнитного момента. Наличие дополнительного постоянного магнитного поля приводит к смещению в пространстве устойчивых ориентаций вектора магнитного момента одноосной суперпарамагнитной частицы относительно оси легкого намагничивания, к искажению симметрии двухъямного потенциала.

Магнитная энергия модулированной одноосной частицы в данном случае имеет вид [4]:

$$E(\theta, t) = -Kv \cos \theta - \mu_0 M H v (\cos \theta \cos \alpha + \sin \theta \sin \alpha \cos \phi) + \mu_0 M H_1 v \cos \theta \cos(\Omega t) \quad (1)$$

Здесь первое слагаемое описывает взаимодействие магнитного момента суперпарамагнитной частицы с полем анизотропии, второе – с внешним постоянным полем, третье – с внешним переменным полем. θ - угол между легкой осью и вектором магнитного момента частицы (полярный угол в сферической системе координат, где ось Z направлена вдоль легкой оси), α - угол между легкой осью и вектором $\mathbf{H}$ (пусть $\mathbf{H}$ лежит в плоскости XZ), ϕ - угол между проекцией вектора $\mathbf{M}$ на плоскость XY и осью X (азимутальный угол в сферической системе координат, рис.1).

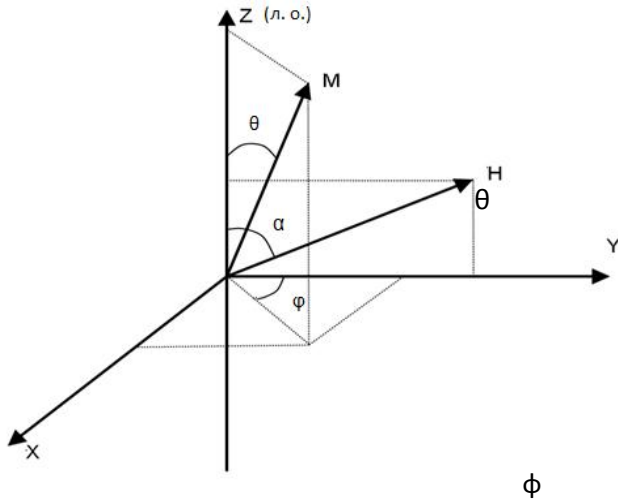


Рис. 1. Взаимное расположение векторов напряженности постоянного магнитного поля, магнитного момента и оси легкого намагничивания наночастицы.

Энергия (1) принимает минимальные значения при $\phi=0$, что соответствует некоторым средним устойчивым ориентациям вектора M в плоскости XZ .

Управляющее уравнения для скоростей надбарьерных переходов вектора магнитного момента имеет вид [1]:

$$\frac{dn_+}{dt} = -\frac{dn_-}{dt} = W_-(t)n_- - W_+(t)n_+ = W_-(t) - [W_-(t) - W_+(t)]n_+ . \quad (2)$$

Здесь $n_{\pm}$ – вероятность того, что дискретная динамическая переменная $x = M \cos \theta$ примет одно из значений, соответствующих минимумам двухъямного потенциала. $W_{\pm}(t)$ – скорости Крамерса выхода из минимумов. Решение данного уравнения [4]:

$$n_+(t | x_0, t_0) = \exp(-W(t-t_0)) \left(\delta_{x_0 M} - \frac{C}{W} - \frac{AC \cos(\Omega t_0 - \phi)}{\sqrt{W^2 + \Omega^2}} \right) + \frac{C}{W} + \frac{ACW \cos(\Omega t - \phi)}{\sqrt{W^2 + \Omega^2}} ,$$

где U_1, U_2 - высоты потенциальных барьеров (рис.2),

$$W = W_-(t) + W_+(t) \approx \alpha_0 \left[\exp\left(-\frac{U_1}{kT}\right) + \exp\left(-\frac{U_2}{kT}\right) \right] , \quad (4)$$

$$W_-(t) = \alpha_0 \exp\left(-\frac{U_1}{kT} - A_- \cos \Omega t\right) ,$$

$$W_+(t) = \alpha_0 \exp\left(-\frac{U_2}{kT} + A_+ \cos \Omega t\right) .$$

Здесь $C = \alpha_0 \exp(-U_1/(kT))$ – Крамерсова скорость выхода системы из более глубокого минимума асимметричного немодулированного потенциала. $\phi = \arctg(\Omega/W)$ - разность фаз между откликом системы и внешним периодическим сигналом. Как показано в [4], $|\cos \theta_{\min-}| \approx |\cos \theta_{\min+}|$ при $\mu_0 M H < K$, так что для упрощения расчетов примем $A_+ = A_- = A$. Здесь

$A = \mu_0 \frac{M_0 H_1 \nu}{kT}$ - безразмерная амплитуда проекции внешней модуляции на легкую ось.

Обозначим также $M_0 = M \cos \theta_{\min}$. Частота попыток α_0 имеет величину порядка частоты ферромагнитного резонанса и для железных однодоменных частиц обычно равна $10^9 - 10^{10} \text{ с}^{-1}$, более точное выражение для α_0 предложено в [5].

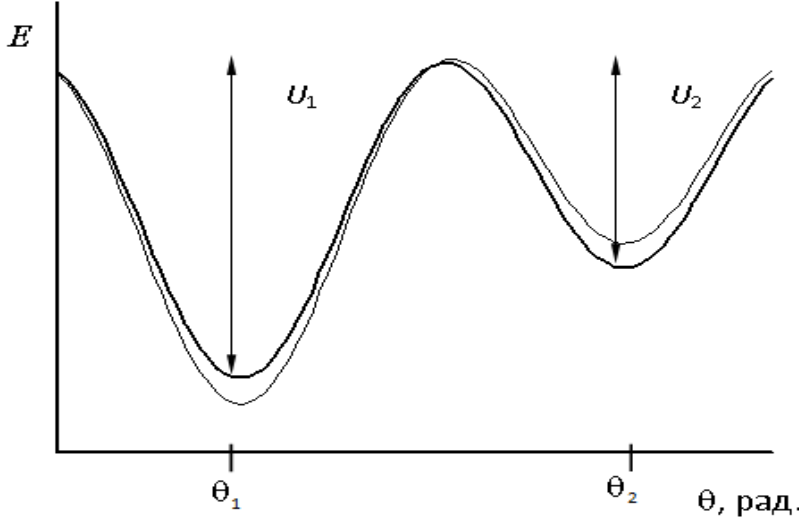


Рис. 2. Магнитная энергия легкоосной однодоменной частицы в зависимости от угла между «легкой осью» и вектором магнитного момента частицы. Тонкая линия представляет модулированную систему в фиксированный момент времени (при $t = 0$).

Запишем автокорреляционную функцию по аналогии с [6]:

$$\langle x(t)x(t+\tau) | x_0, t_0 \rangle = M_0^2 [2[n_+(t+\tau | +M_0, t) + n_+(t+\tau | -M_0, t) - 1]n_+(t | x_0, t_0) - 2[n_+(t+\tau | -M_0, t) - 1]] \quad (5)$$

Выражение $+M_0^2 n_+(t+\tau | -M_0, t) n_-(t | x_0, t_0)$, например, описывает такую ситуацию: в момент времени t_0 ориентация проекции вектора $\mathbf{M}$ была M_0 ; в момент времени t : $x = -M_0$, в $t+\tau$: $x = +M_0$. В пределе $t_0 \rightarrow \infty$ автокорреляционная функция упрощается:

$$\begin{aligned} \langle x(t)x(t+\tau) \rangle &= \lim_{t_0 \rightarrow -\infty} \langle x(t)x(t+\tau) | x_0, t_0 \rangle = M_0^2 \left\{ -4 \exp(-W|\tau|) C^2 A^2 \frac{\cos^2(\Omega t - \phi)}{W^2 + \Omega^2} + \right. \\ &+ 2CA \left(1 - 2 \frac{C}{W} \right) \left[(2 \exp(-W|\tau|) - 1) \frac{\cos(\Omega t - \phi)}{\sqrt{W^2 + \Omega^2}} - \frac{\cos(\Omega(t+\tau) - \phi)}{\sqrt{W^2 + \Omega^2}} \right] + \\ &+ 2C^2 A^2 \frac{\cos(\Omega \tau) + \cos(\Omega(2t+\tau) - 2\phi)}{(W^2 + \Omega^2)} + \\ &\left. + 4 \left(1 - \frac{C}{W} \right) \frac{C}{W} (\exp(-W|\tau|) - 1) + 1 \right\} \end{aligned}$$

Спектральная плотность, являющаяся Фурье-преобразованием автокорреляционной функции, есть функция от t и Ω [6]. Усреднив по t автокорреляционную функцию,

$$\langle \langle x(t)x(t+\tau) \rangle \rangle_t = \frac{-2M^2 C^2 A^2 \exp(-W|\tau|)}{W^2 + \Omega^2} + 2M^2 C^2 A^2 \frac{\cos(\Omega \tau)}{(W^2 + \Omega^2)} + M^2 \left(4 \left(1 - \frac{C}{W} \right) \frac{C}{W} (\exp(-W|\tau|) - 1) + 1 \right), \quad (7)$$

окончательно получим выражение для и спектральной плотности:

$$S(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} \langle x(t)x(t+\tau) \rangle_t \exp(-i\omega\tau) d\tau = \left(4 \left(1 - \frac{C}{W} \right) \frac{C}{W} - \frac{2C^2 A^2}{W^2 + \Omega^2} \right) \frac{2WM^2}{W^2 + \omega^2} + \frac{2\pi M^2 A^2 C^2}{W^2 + \Omega^2} [\delta(\omega - \Omega) + \delta(\omega + \Omega)] + M^2 \left(1 - 4 \left(1 - \frac{C}{W} \right) \frac{C}{W} \right) \delta(\omega) \quad (8)$$

Далее, через $S(\omega)$ будем обозначать односторонний, имеющий физический смысл спектр, т.е. будем полагать, что $S(\omega)$ определена только для положительных частот. Тогда формула (8) примет вид:

$$S(\omega) = \left(4 \left(1 - \frac{C}{W} \right) \frac{C}{W} - \frac{2C^2 A^2}{W^2 + \Omega^2} \right) \frac{2WM^2}{W^2 + \omega^2} + \frac{2\pi M^2 A^2 C^2}{W^2 + \Omega^2} \delta(\omega - \Omega) \quad (9)$$

Отношение сигнала к шуму (SNR) определяется как отношение мощностей сигнала и шума на частоте сигнала, т.е. второго слагаемого к первому в выражении (9), вычисленное на единичном интервале частот вблизи частоты модуляции Ω :

$$SNR = \frac{\pi A^2 C^2 W (W^2 + \Omega^2)}{4C(W - C)(W^2 + \Omega^2) - 2C^2 A^2 W^2} \quad (10)$$

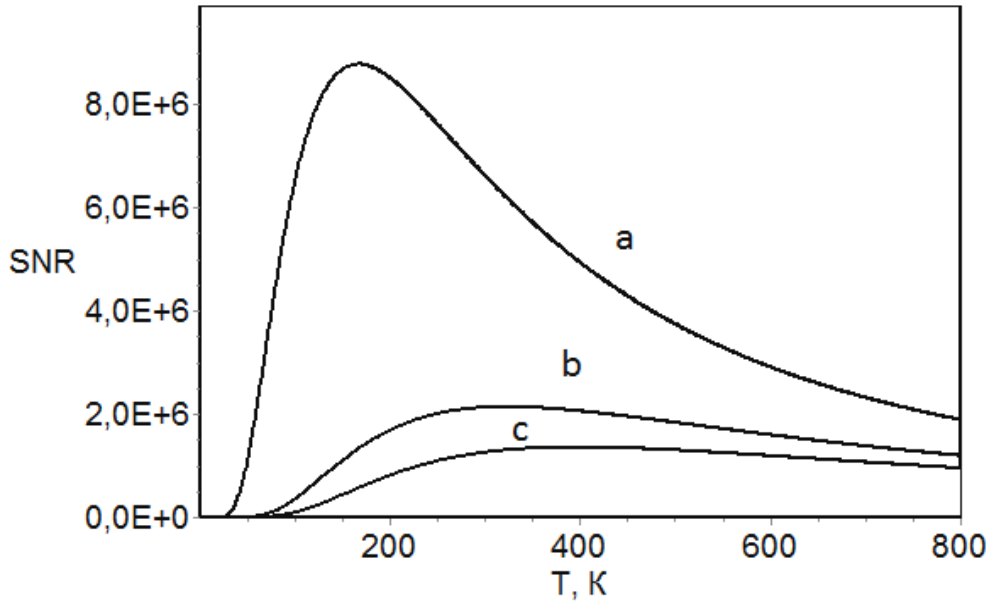


Рис. 3. Отношение сигнал/шум в зависимости от температуры при различных направлениях дополнительного постоянного магнитного поля. Параметры системы: $\Omega=1E4c^{-1}$, $v=2.2E-25m^3$, $M=1.72E6$ А/м, $\alpha_0 = 1E9$ с $^{-1}$, $H=1E4$ А/м. Угол между осью легкой намагничивания и вектором напряженности постоянного магнитного поля: а) $\alpha=90^\circ$, б) $\alpha=60^\circ$, в) $\alpha=45^\circ$.

На рисунке 3 представлены графики температурной зависимости отношения сигнал/шум для разных углов между «легкой осью» и вектором напряженности внешнего дополнительного поля. Графики имеют типичную для стохастического резонанса колоколообразную форму. Видно, что изменение угла приложения постоянного магнитного поля так же, как и вариация температуры, может выступать в роли регулятора интенсивности выходного SNR.

Используемая литература:

1. Садыков Э.К., Исавнин А.Г. "Усиление переменного магнитного поля в системе мелких магнитных частиц" // Физика твердого тела (1994), т.36, № 11, с.3473-3475.
2. Sadykov E.K., Isavnin A.G. "Hyperfine field response to RF excitation in superparamagnetic particles" // Hyperfine Interactions (1996), vol.99, p.415-419.
3. Исавнин А.Г. "Стохастический резонанс в мелкодисперсных магнетиках: сравнение дискретной и непрерывной моделей описания" // Известия высших учебных заведений. Физика (2002), т.45, №11, с.73-77.
4. Исавнин А.Г. "Влияние произвольно направленного постоянного магнитного поля на динамическую восприимчивость суперпарамагнитной частицы в условиях стохастического резонанса" // Известия высших учебных заведений. Физика (2006), т.49, №3, с.67-71.
5. Исавнин А.Г. "Оптимальное аналитическое выражение скорости суперпарамагнитной релаксации для описания стохастического резонанса в модели двух состояний" // Известия высших учебных заведений. Физика (2007), т.50, №5, с.54-58.
6. Namara B., Wiesenfeld K. "The theory of stochastic resonance" // Phys.Rev.A 1989, V.39, № 9, p.4854-4869.

Г.И. Идрисова, А.А. Лопатин к.т.н., В.И. Осипова

Казанский государственный технический университет имени А.Н. Туполева, институт авиации наземного транспорта и энергетики, кафедра теоретических основ теплотехники, Россия, Казань, (843) 231-01-56, alekseylopatin@yandex.ru

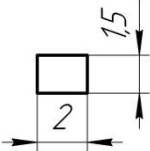
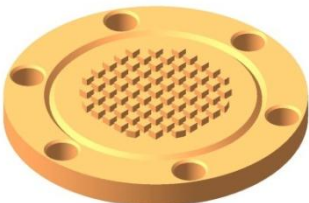
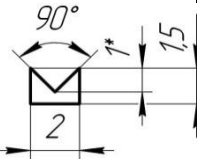
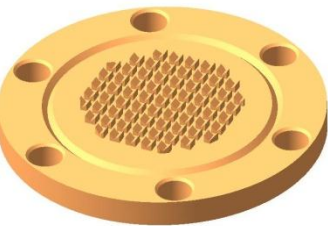
ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ТЕПЛООБМЕНА ПРИ КИПЕНИИ ФРЕОНА R-134a НА МИНИ- И МИКРОШЕРОХОВАТЫХ ПОВЕРХНОСТЯХ

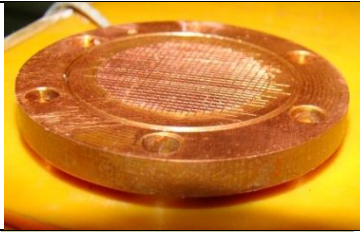
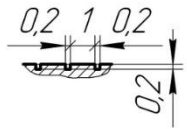
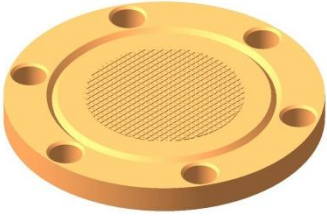
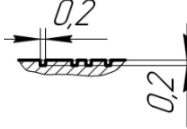
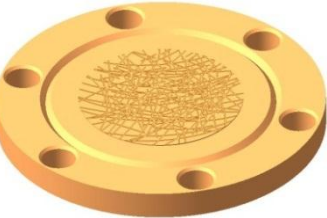
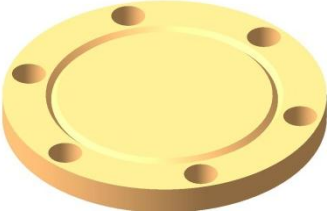
В работе представлены результаты исследования кипения импактных струй фреона R-134a на мини- и микрошероховатых поверхностях в условия стационарного нагрева. Получены зависимости теплоотдачи от плотности теплового потока для различных рабочих поверхностей.

Ключевые слова: *кипение, теплоотдача, интенсификация теплообмена, шероховатость.*

В настоящее время объективной проблемой, сдерживающей развитие электронной компонентной базы, является высокое тепловыделение современных полупроводниковых устройств. Увеличение производительности электронно-вычислительных устройств связано с созданием новых архитектур процессоров, обладающих достаточно большой плотностью элементов на один квадратный миллиметр. До последнего времени для охлаждения теплонагруженных элементов радиоэлектронного оборудования использовались традиционные воздушные системы. В случае, когда речь идет о значительных тепловыделениях, порядка 100-200 Вт с поверхности, не превышающей 10x10 мм, возможности конвективных систем охлаждения ограничены, так как в таких устройствах на первый план выходят массогабаритные характеристики. Значительным преимуществом по сравнению с традиционными системами обладает испарительное охлаждение. Создание новых образцов испарительных систем охлаждения требует детальных сведений о закономерностях теплообмена при кипении низкотемпературных рабочих тел, поисков и реализации существенной интенсификации этих процессов.

Таблица- Геометрические параметры рабочих поверхностей

Фото рабочей поверхности	профиль выступа	3D - изображение	геометрические характеристики
			$D_{\text{пов}}=40$ мм $H_{\text{выст}}=1,5$ мм (упорядоченная мини шероховатость) Поверхность №1
			$D_{\text{пов}}=40$ мм $H_{\text{выст}}=1,5$ мм (упорядоченная мини шероховатость) Поверхность №2

			$D_{\text{пов}}=40 \text{ мм}$ $H_{\text{выст}}=0,3 \text{ мм}$ (упорядоченная микрошероховатость) Поверхность №3
			$D_{\text{пов}}=40 \text{ мм}$ $H_{\text{выст}}=0,3 \text{ мм}$ (не упорядоченная микрошероховатость) Поверхность №4
			$D_{\text{пов}}=40 \text{ мм}$ Гладкая поверхность Поверхность №5

Эксперименты по исследованию теплоотдачи при кипении фреона на сплошных мини- и микрошероховатых поверхностях проводились в условиях стационарного нагрева. Рабочие участки представляли собой поверхности с нанесенной сеткой с шагом 1 мм и глубиной паза 0,2 мм. Неупорядоченная шероховатость формировалась нанесением прорезей глубиной 0,2 мм в случайной последовательности. Геометрические параметры рабочих поверхностей представлены в Таблице. Подача рабочего тела – фреона осуществлялась перпендикулярно поверхности теплообмена. Такой способ подвода теплоносителя наиболее часто используется в существующих системах испарительного охлаждения, так как позволяет достаточно эффективно разрушить пристенный пограничный слой.

На рис. 1 представлены результаты экспериментальных исследований, проведенных на рабочих поверхностях с дискретной мини шероховатостью (поверхности №1, №2 и №5, см. Таблицу). Для сравнения на графике нанесены данные, полученные на гладкой рабочей поверхности.

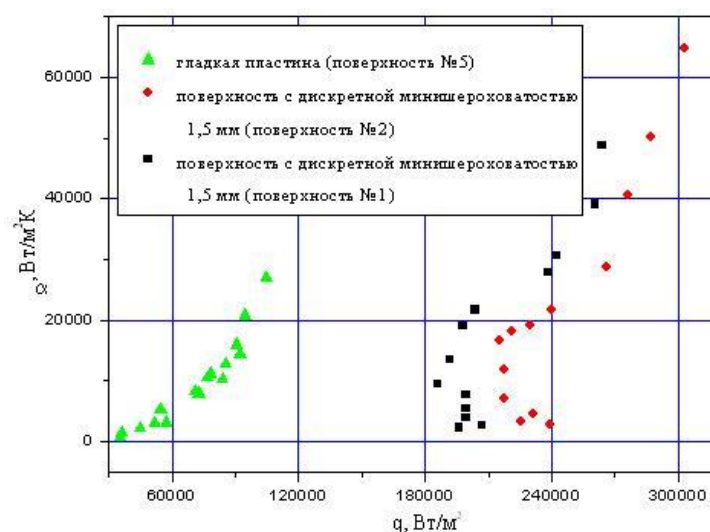


Рис.1. Зависимость коэффициента теплоотдачи от плотности теплового потока для случая кипения фреона R-134a на мини шероховатых и гладкой поверхностях.

Максимальные значения теплоотдачи получены для поверхности №2. Такая ситуация вполне объяснима. Поверхность №2 отличается от поверхности №1 тем, что состоит из упорядоченной минишероховатой структуры, выполненной в виде столбиков с нанесенными на торцевую поверхность v-образными распилами, увеличивающими площадь контакта с фреоном. Развитие поверхности теплообмена приводит к увеличению отводимой плотности теплового потока. Дополнительным фактором, служащим причиной интенсификацией теплообмена на поверхности №2 может служить форма минишероховатости, так как при подаче фреона по нормали к поверхности часть капель теплоносителя отражаясь от v-образной торцевой поверхности, не отводится с отходящими парами фреона, а снова попадает на поверхность.

Известны работы [1-4] в которых авторы подробно исследовали теплообмен при кипении теплоносителей на различных минишероховатых поверхностях применительно к системам охлаждения теплонагруженных элементов радиоэлектронного оборудования. Полученный экспериментальный материал качественно соответствует данным представленным в работе [5], что свидетельствует о схожести процессов протекающих при кипении фреонов на поверхностях с различной минимасштабной структурой.

Результаты исследования кипения импактных струй фреона R-134a на микрошероховатых поверхностях представлены на рис.2. Характер кипения фреонов на мини- и микрошероховатых поверхностях, как это следует из графиков, представленных на рисунках 1 и 2 во многом схож. Аналогичные выводы представлены в [5]. Из графика следует, что максимальная теплоотдача во всем диапазоне тепловых нагрузок соответствует рабочей поверхности №4.

На рис.3 представлены результаты сравнения коэффициента теплоотдачи при кипении импактных струй фреона на мини- и микрошероховатых поверхностях. Как видно из зависимости, представленной на графике, с точки зрения интенсификации теплообмена наиболее эффективной является поверхность с дискретной шероховатостью (поверхность №2). Достаточно полно влияние различных геометрических факторов на теплообмен, в том числе и шероховатость поверхности, рассмотрено в работах [6,7]. Представленные экспериментальные данные (рис.3) полностью соответствует результатам исследований полученных в [7].

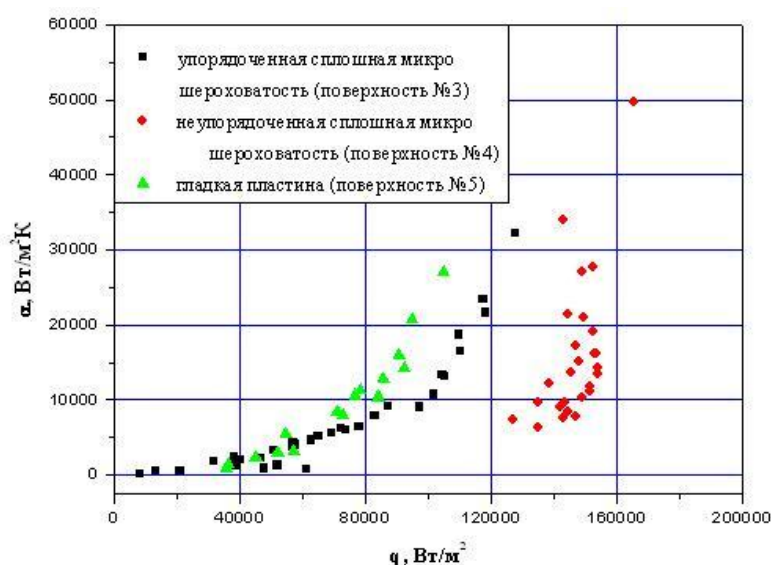


Рис.2. Зависимость коэффициента теплоотдачи от плотности теплового потока для случая кипения фреона R-134a микро шероховатых и гладкой поверхностях.

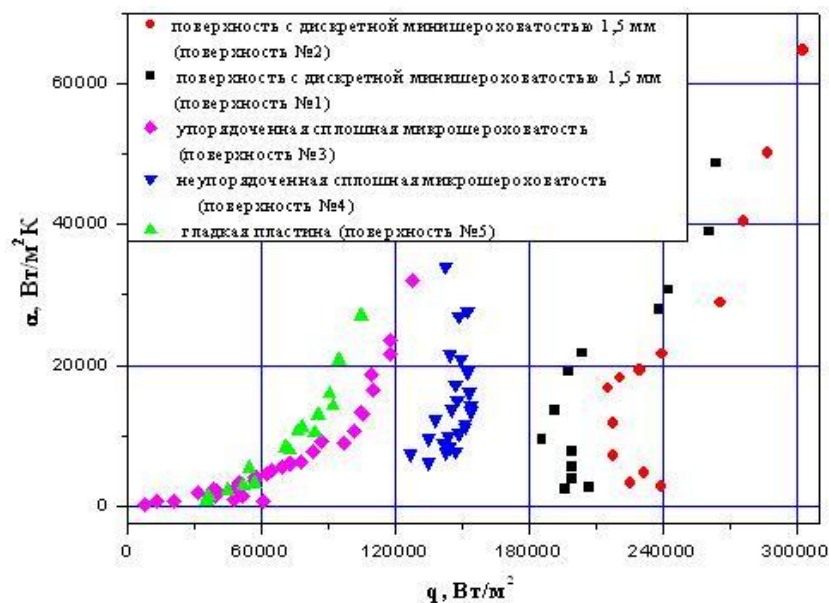


Рис.3. Сравнение теплоотдачи при кипении импактных струй фреона R-134a на мини и микрошероховатых поверхностях.

Список литературы:

1. Bergles, A. E. (1988) Heat Transfer Augmentation, Two-Phase Heat Exchangers, Thermal-Hydraulic Fundamentals and Design, (Ed. S. Kakac, A. E. Bergles, and E. O. Fernandes) Kluwer, Dordrecht, The Netherlands, pp. 343-373.
2. Bergles, A. E., Ed. (1990) Heat Transfer in Electronic and Microelectronic Equipment, Hemisphere, New York, NY.
3. Bergles, A. E. (1992) Enhanced Heat Transfer Techniques for High-Heat-Flux Boiling, High Heat Flux Engineering (Ed. A. M. Khounsary), Vol. 1739, SPIE, Bellingham, WA, pp. 2-16.
4. Yilmaz, S., Hwalck, J. J., and Westwater, J. W. (1980) Pool Boiling Heat Transfer Performance for Commercial Enhanced Tube Surfaces, ASME Paper 90-HT-41.
5. Дзюбенко Б.В., Кузма-Кичта Ю.А., Леонтьев А.И., Федик И.И., Холтанов Л.П. Интенсификация тепло- и массообмена. - М.: ФГУП «ЦНИИАТОМИНФОРМ», 2008, с цв. вкладкой.
6. Веретенников С.В., Посыпкина Е.О. Исследование теплообмена при импактном охлаждении поверхностей комбинированными струями. РНКТ- 5, Москва, 2010 г., с.51-54.
7. Кириллов П.Л., В.В. Привезенцев, Е.В. Соловьев. Исследование закономерностей отвода высоких тепловых потоков в режиме кипящих струй. РНКТ - 4, Москва, 2006 г., с.107-110.

*Работа выполнена при финансовой поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы. Гос. контракт №14.740.11.0320.

Г.А. Камаева, О.А. Перегудова д.ф-м.н.

Ульяновский государственный университет,
факультет математики и информационных технологий,
кафедра информационной безопасности и теории управления,
Россия, Ульяновск, (842) 232-20-22, peregudovaoa@sv.ulsu.ru

УПРАВЛЕНИЕ МНОГОЗВЕННЫМИ МАНИПУЛЯТОРАМИ С УПРУГИМИ СОЧЛЕНЕНИЯМИ НА ОСНОВЕ ЗАПАЗДЫВАЮЩЕЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ

В работе представлены новые результаты решения задачи о построении управления движением многозвонного манипулятора с учетом свойств упругости в соединительных элементах звеньев и запаздывания в структуре обратной связи. Предложен непрерывный закон управления с насыщением, позволяющий стабилизировать заданное нестационарное движение робота.

Ключевые слова: многозвонный манипулятор, управление с насыщением, упругие шарниры, нелинейные динамические системы.

Актуальной проблемой исследований является синтез управления многозвонными манипуляторами с упругими сочленениями. Такие механические системы применяются с целью повышения эффективности работы робота в пространстве с множеством препятствий [1]. Для синтеза управления движением манипуляторов с упругими сочленениями в настоящее время наиболее применимым является метод линеаризации обратной связью [2]. При этом малоисследованным является вопрос об учете запаздывания в управлении движением манипулятора. Известно, что причинами возникновения запаздывания в системах автоматизированного управления могут являться задержки передачи и обработки сигналов в сетях, а также задержки в работе самих исполнительных механизмов.

Целью настоящей работы является построение закона управления многозвонным манипулятором с упругими сочленениями с учетом неизвестного и переменного запаздывания в структуре обратной связи.

Динамическая модель многозвонного манипулятора имеет вид:

$$M(q)\ddot{q} + N(q, \dot{q}) + K(q - Q) = 0, \quad B\ddot{Q} + K(Q - q) = \tau, \quad (1)$$

где $q \in R^n$ – вектор обобщенных координат управляемых звеньев манипулятора, $Q \in R^n$ – вектор обобщенных координат управляющих приводов, $M(q)$ – матрица инерции звеньев робота, $N(q, \dot{q}) \in R^n$ – вектор центробежных, кориолисовых и гравитационных сил, $K = \text{diag}\{k_1, \dots, k_n\} > 0$ – матрица жесткости шарниров, $B = \text{diag}\{b_1, \dots, b_n\}$ – матрица инерции приводов, $\tau \in R^n$ – вектор входных сигналов, поступающих на управляющие устройства.

Преобразуем систему (1), исключив вектор Q . Для этого продифференцируем первое уравнение в системе (1) дважды по времени, получим

$$M(q)q^{[4]} + 2\dot{M}(q)q^{[3]} + \ddot{M}(q)\ddot{q} + \ddot{N}(q, \dot{q}) + K(\ddot{q} - \ddot{Q}) = 0.$$

Исключив в последнем уравнении вектор $\ddot{Q}$ с помощью второго уравнения системы (1), получим

$$M(q)q^{[4]} + 2\dot{M}(q)q^{[3]} + \ddot{M}(q)\ddot{q} + \ddot{N}(q, \dot{q}) + K(\ddot{q} + B^{-1}M(q)\ddot{q} + B^{-1}N(q, \dot{q})) = KB^{-1}\tau \quad (2)$$

Будем считать, что в цепи обратной связи присутствует некоторое запаздывание $h(t) \leq h_0 = \text{const} > 0$. Пусть $q_0(t): R \rightarrow R^n$ – некоторая заданная траектория движения системы (2).

Задача слежения состоит в отыскании управления τ по принципу обратной связи, удовлетворяющего ограничению $|\tau| \leq \tau_0 = \text{const} > 0$, и ограничений на параметры системы (2), при которых для некоторого числа $\varepsilon > 0$ найдутся число $\delta(\varepsilon) > 0$ и момент времени $t_1 > 0$, что для любой начальной функции $\varphi(s)$, $-h_0 \leq s \leq 0$, удовлетворяющей условию

$$\begin{aligned} \max_{-h \leq s \leq 0} |\varphi(s) - q_0(s)| < \delta, \quad \max_{-h \leq s \leq 0} |\dot{\varphi}(s) - \dot{q}_0(s)| < \delta, \\ \max_{-h \leq s \leq 0} |\ddot{\varphi}(s) - \ddot{q}_0(s)| < \delta, \quad \max_{-h \leq s \leq 0} |\ddot{\varphi}(s) - \ddot{q}_0(s)| < \delta, \end{aligned}$$

для решения $q(t)$ системы (2) с начальным условием $q(s) = \varphi(s)$, $-h_0 \leq s \leq 0$, будет справедливо неравенство $|q(t) - q_0(t)| < \varepsilon \quad \forall t \geq t_1$.

Введем отклонения от отслеживаемой траектории $q_0(t)$

$$x = q - q_0(t), \quad \dot{x} = \dot{q} - \dot{q}_0(t), \quad \ddot{x} = \ddot{q} - \ddot{q}_0(t), \quad \ddot{\ddot{x}} = \ddot{\ddot{q}} - \ddot{\ddot{q}}_0(t),$$

и запишем уравнение (2) в отклонениях, выделив линейные слагаемые:

$$x^{[4]} + A_0(t)x^{[3]} + B_0(t)\ddot{x} + C_0(t)\dot{x} + D_0(t)x = M_1^{-1}(t, x)KB^{-1}\tau + f_0(t) + g_2(t, x, \dot{x}, \ddot{x}, \ddot{\ddot{x}}), \quad (3)$$

где матрицы $M_1(t, x)$, $A_0(t)$, $B_0(t)$, $C_0(t)$, $D_0(t)$ и векторы $f_0(t)$ и $g_2(t, x, \dot{x}, \ddot{x}, \ddot{\ddot{x}})$ имеют следующие выражения

$$\begin{aligned} M(x + q_0(t)) &= M_1(t, x), \quad A_0(t) = \frac{\partial L(t, q, \dot{q}, \ddot{q}, \ddot{\ddot{q}})}{\partial \ddot{\ddot{q}}} \Big|_{q=q_0(t), \dot{q}=\dot{q}_0(t), \ddot{q}=\ddot{q}_0(t), \ddot{\ddot{q}}=\ddot{\ddot{q}}_0(t)}, \\ B_0(t) &= \frac{\partial L(t, q, \dot{q}, \ddot{q}, \ddot{\ddot{q}})}{\partial \ddot{\ddot{q}}} \Big|_{q=q_0(t), \dot{q}=\dot{q}_0(t), \ddot{q}=\ddot{q}_0(t), \ddot{\ddot{q}}=\ddot{\ddot{q}}_0(t)}, \quad C_0(t) = \frac{\partial L(t, q, \dot{q}, \ddot{q}, \ddot{\ddot{q}})}{\partial \dot{\ddot{q}}} \Big|_{q=q_0(t), \dot{q}=\dot{q}_0(t), \ddot{q}=\ddot{q}_0(t), \ddot{\ddot{q}}=\ddot{\ddot{q}}_0(t)}, \\ D_0(t) &= \frac{\partial L(t, q, \dot{q}, \ddot{q}, \ddot{\ddot{q}})}{\partial \dot{q}} \Big|_{q=q_0(t), \dot{q}=\dot{q}_0(t), \ddot{q}=\ddot{q}_0(t), \ddot{\ddot{q}}=\ddot{\ddot{q}}_0(t)}, \quad f_0(t) = L(t, q_0(t), \dot{q}_0(t), \ddot{q}_0(t), \ddot{\ddot{q}}_0(t)) - q_0^{[4]}(t), \\ g_2(t, x, \dot{x}, \ddot{x}, \ddot{\ddot{x}}) &= O(|x|^2, |\dot{x}|^2, |\ddot{x}|^2, |\ddot{\ddot{x}}|^2), \end{aligned}$$

а вектор-функция $L = L(t, q, \dot{q}, \ddot{q}, \ddot{\ddot{q}})$ имеет вид

$$L(t, q, \dot{q}, \ddot{q}, \ddot{\ddot{q}}) = -M^{-1}(q)(2\dot{M}(q)q^{[3]} + \ddot{M}(q)\ddot{q} + \ddot{N}(q, \dot{q}) + K(\ddot{q} + B^{-1}M(q)\ddot{q} + B^{-1}N(q, \dot{q})))$$

Сделаем в уравнениях (3) замену переменных

$$x_1 = x, \quad x_2 = x_1 + \frac{1}{f} \dot{x}_1, \quad x_3 = x_2 + \frac{1}{g} \dot{x}_2, \quad x_4 = x_3 + \frac{1}{p} \dot{x}_3,$$

где f, g, p – некоторые положительные постоянные.

Введем следующие обозначения:

$$\begin{aligned}\delta_1(t) &= f^2(1 - \frac{f}{pg})I + \frac{f^2}{pg}A_0(t) - \frac{f}{pg}B_0(t), \\ \delta_2(t) &= \frac{f^3 + f^2g + fg^2 + g^3}{pg}I - \frac{f^2 + fg + g^2}{pg}A_0(t) + \frac{f+g}{pg}B_0(t) - \frac{1}{pg}C_0(t), \\ \delta_3(t) &= -\frac{2f-p}{p}A_0(t) - \frac{(g+f)^2 - gp + p^2}{p}I + \frac{1}{p}B_0(t), \delta_4(t) = (f+g+p)I - A_0(t).\end{aligned}$$

Тогда в новых переменных получим следующую систему

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = -fx_1 + fx_2, & \dot{x}_2 = -gx_2 + gx_3, & \dot{x}_3 = -px_3 + px_4, \\ \dot{x}_4 = \delta_1(t)x_1 + \delta_2(t)x_2 + \delta_3(t)x_3 + \delta_4(t)x_4 + \frac{1}{fgp}M_1^{-1}(t, x_1)KB^{-1}\tau + \\ & + \frac{1}{fgp}f_0(t) + \frac{1}{fgp}d_2(t, x_1, x_2, x_3, x_4) \end{cases}$$

Здесь вектор $d_2(t, x_1, x_2, x_3, x_4)$ есть функция $g_2(t, x, \dot{x}, \ddot{x})$ в новых переменных.

Найден нелинейный непрерывный закон управления в виде

$$\tau = \alpha K_1 \text{sat}(x_4(t-h)) - BK^{-1}M_1(t, x_1(t))f_0(t), \quad (4)$$

где $\alpha < 0$ – некоторая постоянная, $K_1 = pfgBK^{-1}M_1(t, x_1(t))$, $\text{sat}(\bullet)$ – вектор-функция насыщения с большим углом наклона линии переключения управления, являющаяся непрерывной аппроксимацией релейной функции [3], $\text{sat}(x_4) = (\text{sat}(x_{41}), \text{sat}(x_{42}), \dots, \text{sat}(x_{4n}))^T$, имеющая следующие компоненты:

$$\text{sat}(x_{4i}) = \begin{cases} \text{sign}(x_{4i}), & |x_{4i}| \geq \gamma, \\ \frac{x_{4i}}{\gamma}, & |x_{4i}| < \gamma, \end{cases} \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad \gamma = \text{const} > 0$$

Тем самым, выбор закона управления в виде (4), с одной стороны, позволит уменьшить амплитуду колебаний, возникающего при наличии запаздывания в структуре обратной связи с релейным управлением, а с другой стороны, обеспечит свойство робастности по отношению к вариациям параметров системы.

Введем следующие обозначения:

$$\begin{aligned}q_i(t, y_1, y_2, y_3) &= \left(\sum_{k=1}^3 \sum_{j=1}^n |\delta_{ki,j}(t)| + \sum_{j=1, j \neq i}^n |\delta_{4i,j}(t)| + \delta_{4i,i}(t) \right) y_1 + 4Ny_2^2 + \alpha y_3, \\ a_i &= \max_{t \geq 0} |q_i(t, 0, 0, -1)|, \quad b_i = \max_{t \geq 0} |q_i(t, 1, 1, -1) - q_i(t, 0, 0, -1)|, \\ \gamma_1 &= \max_{1 \leq i \leq n} \left\{ \frac{1}{b_i} [(a_i + b_i \gamma) e^{b_i h_0} - a_i] \right\}.\end{aligned}$$

На основе применения функции Ляпунова $V = \max(|x_1|, |x_2|, |x_3|, |x_4|)$ получена следующая теорема.

Теорема 1. Пусть существуют положительные постоянные $\delta > \gamma_1$, $\varepsilon < \gamma$ и N , такие, что для всех $i = 1, 2, \dots, n$ и для любого $t \geq 0$ выполняются следующие неравенства:

$$q_i(t, \delta_1, \delta_1, 1) \leq -\varepsilon_1 = \text{const} < 0, \quad |d_2(t, x_1, x_2, x_3, x_4)| \leq pgfN \sum_{l=1}^4 |x_l|^2,$$

$$q_i(t, \gamma_1, \gamma_1, 1) - \alpha |q_i(t, \gamma_1, \gamma_1, -1)| \leq -\varepsilon_1 = \text{const} < 0,$$

$$q_i(t, \varepsilon, \varepsilon, \varepsilon/\gamma) - \alpha |q_i(t, \varepsilon, \varepsilon, -\varepsilon/\gamma)| \leq -\varepsilon_1 = \text{const} < 0.$$

Тогда управление (4) решает задачу об отслеживании траектории $q_0(t)$ с погрешностью слежения, не превышающей ε .

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ (проект МД-7549.2010.1) и АВЦП «Развитие научного потенциала высшей школы» (проект № 2.1.1/11180).

Список литературы:

1. *Moberg S.* On modeling and control of flexible manipulators. Linkoping: Linkoping University, 2007. 148 p.
2. *Palli G., Melchiorri C., De Luca A.* On the feedback linearization of robots with variable joint stiffness // IEEE International Conference on Robotics and Automation. 2008. P. 1753-1759.
3. *Халил Х.К.* Нелинейные системы. М.-Ижевск: НИЦ "Регулярная и хаотическая динамика", Институт компьютерных исследований, 2009. 832 с.

РЕЛАКСАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ В АРМКО - ЖЕЛЕЗЕ ПРИ ДАВЛЕНИЯХ 10 — 40 ГПА

Обнаружено, что термоэдс армко - железа при давлениях 10-40 ГПа существенно зависит от времени обработки давлением. Впервые экспериментально подтвержден механизм магнитного фазового перехода ферромагнетик - парамагнетик через промежуточное спиновое состояние. Все теоретически предсказанные области давлений, соответствующие различным этапам магнитного перехода ферромагнетик – парамагнетик, и связанные с изменением магнитной структуры имеют особенности барической зависимости термоэдс и времени релаксации термоэдс.

Ключевые слова: *время релаксации, ТЭДС, высокие давления, алмазные наковальни, железо.*

Введение

После обнаружения в 1956 г. в железе ОЦК - ГПУ перехода при давлении 13 ГПа[1] исследованию структурных состояний железа при статических давлениях и ударных нагрузках посвящено значительное число работ [2-12]. По данным разных авторов значения давлений фазовых переходов различны. В [13] начало прямого α - ϵ превращения наблюдается при давлениях от 8 до 15 ГПа, общепринятым [14] считается давление в диапазоне $11 \div 11,5$ ГПа. Авторы исследований [3, 4] указывают на существование новых фаз высокого давления в железе. Однако в работах [7,8] эти фазы не обнаружены.

В связи с этим интересно провести исследования фазовых превращений в железе методами, позволяющими проводить измерения характеристик образца *in-situ*, в частности – с помощью измерения ТЭДС непосредственно при высоких давлениях в камерах с наковальнями из искусственных алмазов «карбонадо»[15].

Методика измерений

В качестве исходного материала использованы фольги из армко - железа толщиной 75 мкм. Общее содержание примесей около 0,45%. Для получения высокого давления применяли камеру высокого давления (КВД) с наковальнями типа «закругленный конус - плоскость», изготовленными из синтетических поликристаллических алмазов «карбонадо» (АСПК) [15,16]. Эти алмазы хорошо проводят электрический ток и использованы в качестве электрических контактов к образцу.

При проведении исследований сначала измеряли ТЭДС при ~ 0 ГПа, затем при некотором значении давления, вслед за этим давление снижали до ~ 0 ГПа, и вновь измеряли ТЭДС. Затем цикл измерения повторялся с увеличением с некоторым шагом значения порогового давления (многоцикловое нагружение). При малоцикловом нагружении давление увеличивала с некоторым шагом до максимального значения, затем снижали давление в обратной последовательности. При каждом изменении давления измеряли установившееся через некоторое время значение ТЭДС.

Методика позволяет изучать один и тот же образец при последовательном увеличении и снижении давления, выдерживать образцы под нагрузкой. На образце после воздействия давлением остается отпечаток диаметром $\sim 0,2$ мм, толщиной $\sim (10 \div 30)$ мкм.

Экспериментальные результаты и их обсуждение

Барические зависимости ТЭДС и электрического сопротивления [18] представлены на рис. 2а. Давления до 12 ГПа соответствуют области стабильности α - фазы железа (ОЦК). Вторая область (12–20 ГПа) — α - ϵ переход, и третья (20–35 ГПа) ϵ - фазе железа (ГПУ). Барическая зависимость ТЭДС для армко - железа коррелирует с барической зависимостью электрического сопротивления.

Нами показано, что ТЭДС армко - железа при давлениях до 12 ГПа не зависит от времени выдержки образца под нагрузкой. При более высоких давлениях ТЭДС существенно зависит от времени и при давлениях более 20 ГПа аппроксимируется экспоненциальной зависимостью типа $S = S_0 + A \cdot \exp(-t/\tau)$ (где S_0 — барический коэффициент, A — экспоненциальный множитель, t — время, τ — время релаксации) (рис. 1).

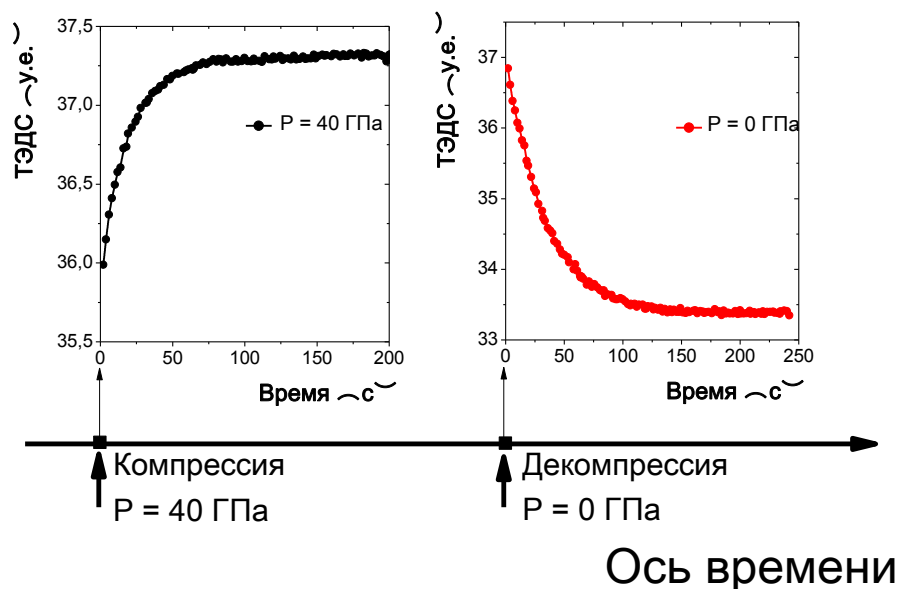


Рис 1. Типичная зависимость ТЭДС от времени

При сравнении результатов, полученных при многоцикловом и малоцикловом нагружении, обнаружено, что на зависимость ТЭДС армко - железа зависит от времени существенное влияние оказывает предыстория образца (рис. 2 б, в).

В диапазоне 12—20 ГПа наблюдаются скачки ТЭДС, связанные, вероятно, с нестабильностью структуры при α - ϵ переходе. Если максимальное давление, приложенное к образцу, не превышало 35 ГПа, то при снижении давления величина ТЭДС совпадала с данными, полученными при увеличении давления. При превышении максимальным давлением значения 35 ГПа ТЭДС испытывает скачок, причем после снижения давления до нуля ее значение не возвращается к исходному.

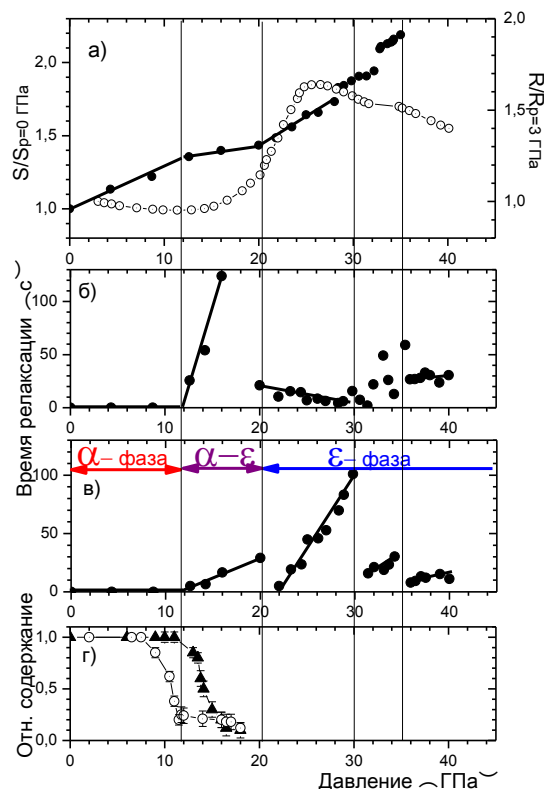


Рис 2. а) Барические зависимости ТЭС и электросопротивления [18] армко-железа в относительных единицах; б) время релаксации при повышении давления; в) время релаксации при снижении давления; г) относительное содержание ОЦК и ГПУ фаз [20].

Переходная α - ϵ область 12 — 20 ГПа характеризуется большими значениями времени релаксации величина, что связано протекающим фазовым переходом первого рода. Это хорошо согласуется с данным об относительном содержании ОЦК и ГПУ фаз в интервале давления 10-20 ГПа (рис. 2 г) [20]. ОЦК - фаза частично сохраняется до давления 20 ГПа. При увеличении давления в интервале 20 ÷ 30 ГПа время релаксации резко возрастает. После снижения давления от значений выше 35 ГПа до ~0 ГПа время релаксации более 30 с. Это примерно в три раза меньше, чем время релаксации, характеризующее α - ϵ переход и связанные с ним процессы при снижении давления, тем не менее, это заметно при сравнении с областью стабильности ϵ - фазы в диапазоне давлений (20 ÷ 30) ГПа.

По данным авторов [18], электрическое сопротивление железа достигает максимального значения при 26,5 ГПа, после чего уменьшается до достижения давления 31,4 ГПа. В области давлений 31,4–34,4 ГПа наблюдается замедленное уменьшение сопротивления, связываемое его с электронным s - d переходом. Другие авторы [19,20] указывают, что какие либо электронные переходы в данной области отсутствуют, но вплоть до 35 ГПа обнаруживаются следы ОЦК фазы.

Из теоретических расчетов [21] следует, что переход из высокоспинового состояния (ферримагнитное, фм) в низкоспиновое (парамагнитное, пм) может осуществляться через промежуточное спиновое состояние. Причем область существования промежуточного состояния 15-50 ГПа. По разности энтальпии между каждыми двумя фазами фмОЦК - фмГПУ, фмОЦК - пмГПУ и пмОЦК - пмГПУ определены давления возможных переходов через промежуточные состояния, составляющие 14,4, 29,5, 42,7 ГПа соответственно.

Таким образом, нами впервые экспериментально показано, что при всех указанных в [21] давлениях термоэдс и особенно – времена релаксации термоэдс, имеют особенности, причиной которых является изменения магнитной структуры железа.

Список литературы:

1. Bancroft D., Peterson E.L., Minshall F.S. Polymorphism of Iron at High Pressure // J. Appl. Phys. 1956. V. 27. P. 291.
 2. Minshall I F. S. Investigation of polymorphic transition in iron at 130 kbar // Phys.Rev. - 1955, V. 98, - P. 271.
 3. Takahashi T., Bassett W .A. High pressure polymorphism of iron // Science. - 1964. V. 14,. - P. 483-485.
 4. Saxena S. K., Dubrovinsky L. S., Haggkvist P. et al. Structure of b-Iron at High Temperature and Pressure // Science. - 1995.V. 269, - P. 1703–1704
 5. Andrault D, Fiquet G, Kunz M et al. The Orthorhombic Structure of Iron: An in Situ Study at High-Temperature and High-Pressure // Science - 1997 V.278, - P. 831–834
 6. Boettger J. C. and Wallace D. C. Metastability and dynamics of the shock-induced phase transition in iron // Phys.Rev. B - 1997 V. 55, № 5, - P 2840-2849
 7. Duvall G. E., Graham R. A. Phase transition under shock wave loading // Rev. Mod. Phys. - 1977, V. 49. № 3, - P. 523-579.
 8. Kubo A., Ito E., Katsura T. et al In situ X-ray observation of iron using Kawai-type apparatus equipped with sintered diamond: Absence of β phase up to 44 GPa and 2100 K // Geophys. Res. Lett., - 2003, V. 30 (3), - P. 1126.
 9. Shen, G. Mao H.-K., Hemley R. J. et al Melting and crystal structure of iron at high pressures and temperatures // Geophys. Res. Lett., - 1998, 25(3), - P. 373-376.
 10. Funamori, N., Yagi T., Uchida T. High-pressure and high-temperature in situ x-ray diffraction study of iron to above 30 GPa using MA8-type apparatus // Geophys. Res. Lett., - 1998 23(9), - P. 953-956.
 11. Lubbers R, Grunsteudel H. F, Chumakov A. I. et al. Density of Phonon States in Iron at High Pressure // Science - 2000 287, - P.1250–1253
 12. Thomas S Duffy Synchrotron facilities and the study of the Earth's deep interior // Rep. Prog. Phys. - 2005, 68, - P. 1811–1859
 13. W. A. Bassett and Huang E. Mechanism of the body-centered cubic-hexagonal close-packed phase transition in iron // Science - 1987, 238, - P. 780.
 14. Тонков Е. Ю. Фазовые превращения при высоком давлении. Т.1.-М.:Металлургия, 1988. 464 с.
 15. Babushkin A.N., Popov A.A., Sukhanov I.V et al. Application of diamond anvil cell techniques for studying nanostructure formation in bulk materials directly during severe plastic deformations // Nanostructured Materials by High-Pressure Severe Plastic Deformation. Netherlands, 2006, P.101-106
 16. Vereschagin L. F., Yakovlev V. T., Vinogradov B. V. et al. Megabar Pressure Between Anvils, High Temperatures, High Pressures// High Pressure, - 1974, Vol. 6, - P. 99-505.
 17. Feng-Nian PU, Yu-Zhen DING and Qing-Quan GOU Pressure Dependence of Electrical Resistances for Iron Nickel and Copper//Science in China (Series A) - 1993, Vol. 36, № 3, - P. 333-337.
 18. Yousif Shoaib Mohammed, Yu Yan Hongxia Wang et al Stability of Ferromagnetism in Fe, Co, and Ni Metals under High Pressure with GGA and GGA+U//Journal of Magnetism and Magnetic Materials V 322, 6, 2010, P. 653-657
 19. J. P. Rueff, et al Magnetism In 3d Transition Metals at High Pressures// Phys Rev B. - 1999-60, - P. 4510
 20. Wang F. M. and Ingalls R. Iron bcc-hcp transition: Local structure from X-ray absorption fine structure // Physical Review B - 1998, 57, - P. 5647-5654.
- Zhao-Yi Zeng, Cui-E Hu, Xiang-Rong Chen et al Magnetism and phase transitions of iron under pressure // J. Phys.: Condens. Matter – 2008, V 20, 425217

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

02.00.11

И.В. Голиков, д.х.н., И.Е. Грачева, Г.Н. Крейцберг, д.т.н., О.Г. Крейцберг

Общество с ограниченной ответственностью «Научно-производственное объединение «Ликом», Россия, Ярославль, (4852) 25-98-93, grachevalikom@mail.ru

СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ КОЛЛОИДНОГО РАСТВОРА НАНОЧАСТИЦ СЕРЕБРА

Методом электрохимического растворения металлического серебра в водной среде в присутствии стабилизаторов получен коллоидный раствор наночастиц серебра. Изучены основные физико-химические характеристики полученного раствора, его стабильность во времени.

Ключевые слова: наночастицы серебра, дисперсионный состав, стабильность.

Биогенные металлы играют исключительно важную роль в организме человека и их получение в экологически чистой и безопасной форме трудно переоценить.

Материалы и методы

Для получения коллоидного раствора наночастиц серебра (Silver nanoparticles, далее NPS) использовалась серебряная пластина (ГОСТ 28595-90), нержавеющая сталь (ГОСТ Р ИСО 9001-2001). В качестве стабилизатора использовался желатин (средняя молекулярная масса 60000), хитозан и цитрат аммония (ГОСТ 7234-79).

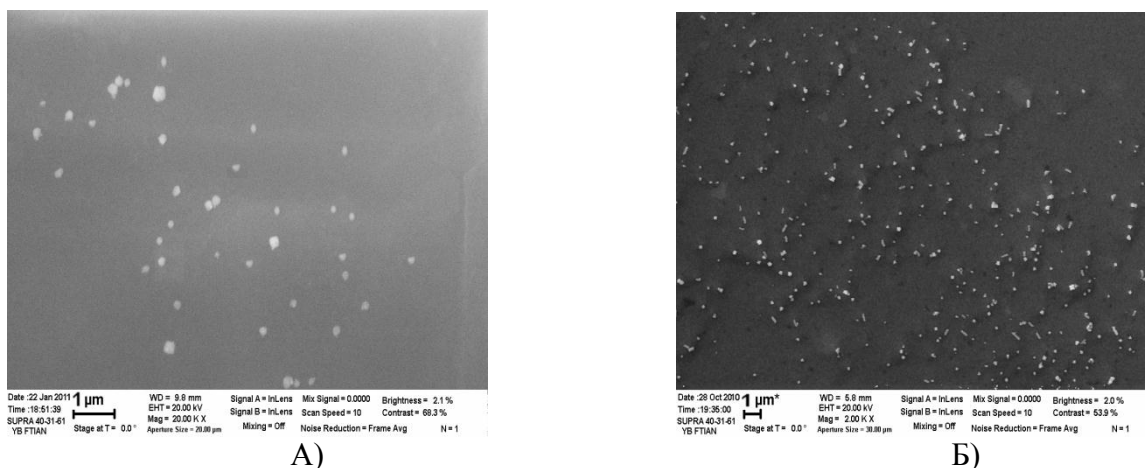
Получение коллоидного раствора NPS проводилось методом электрохимического растворения серебряного анода, подробно описанном в патенте [1].

Микрофотографии получали с помощью автоэмиссионного растрового электронного микроскопа SUPRA 25, производства фирмы Карл Цейс, снабженного электронно-оптической колонной GEMINI. Определение концентрации ионов проводили с использованием лабораторного иономера серии И-160 МИ, применялся ионоселективный кристаллический электрод ЭЛИС-131Ag, предназначенный совместно с электродом сравнения и электронным преобразователем для измерения активности ионов серебра в растворах. Дисперсионный состав коллоидного раствора NPS был исследован с помощью лазерного анализатора размеров частиц Nanotrac-151. Спектры мутности исследуемых растворов получали с использованием прибора Спекорд М-40.

Результаты и их обсуждение

Для исследования были взяты образцы коллоидного раствора NPS, полученные по вышеуказанному методу, с желатином и хитозаном в качестве стабилизатора.

На рисунке 1 представлена микрофотография разбавленных в 30 раз растворов NPS в водной среде.



А)

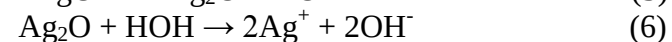
Б)

Рис. 1 – Микрофотография коллоидного раствора NPS, стабилизированных желатином (А), хитозаном (Б)

Суммарная концентрация выделившегося серебра определяется по материальному балансу процесса электролиза (взвешиванием серебряного (электрода до и после электролиза). Она составляет в среднем 140-145 мг/л при теоретически рассчитанной по формуле Фарадея [ссылка] 150 мг/л.

Установлено, что часть серебра, перешедшего с электрода в раствор, находится в ионной форме (30-35 мг/л), а остальное серебро - в виде незаряженных частиц.

Ионная концентрация растворов NPS в течение суток проходит через максимум и затем снижается. По истечении времени экспозиции около 10 дней ионная концентрации практически во всех случаях изменяется незначительно. Такой экстремальный характер этих зависимостей определяется конкуренцией следующих процессов:



Возрастание ионной концентрации связано с растворением гидроксида серебра в лимонной кислоте (7), которая образуется в процессе гидролиза цитрата аммония (1). Снижение ионной концентрации серебра обусловлено образованием металлического серебра (4). Этот процесс, а так же реакции образования комплексов серебра с цитратом аммония (8) выводят серебро из зоны реакции.

Данный процесс подтверждается изменением потенциала платинового электрода и pH растворов в процессе хранения. Эти зависимости также носят экстремальный характер (рис. 3.3). Максимальное значение потенциала соответствует наличию в системе Ag_2O (5), который в дальнейшем гидратируется с образованием гидроксида серебра (6). Гидроксид серебра диспропорционирует до металлического серебра и воды (4), что приводит к снижению значения потенциала и концентрации ионов серебра. Понижение pH обусловлено гидролизом ионов серебра (3).

Таким образом, дисперсная фаза коллоидных растворов серебра состоит как из коллоидных наночастиц металлического серебра, так и некоторого количества оксида серебра, о чем свидетельствует максимальное значение потенциала платинового электрода,

равное 0,548 В, что близко к справочным данным [2]. Исходя из произведения растворимости Ag_2O ($\text{IP} = 1,6 \cdot 10^{-8}$) [2] в равновесии с ним должно находиться 17,1 мг/л ионов серебра. Действительная концентрация ионов серебра в коллоидных растворах примерно в 2 раза выше в виду наличия цитратных комплексов серебра. К сожалению, в литературе нет данных о константах устойчивости цитратных комплексов серебра, но, по всей вероятности, концентрация ионов серебра может уменьшаться за счет реакции (8) [3].

Был проведен анализ дисперсионного состава полученных растворов. Так, на рисунке 2 приведены диаграммы, отражающий распределение NPS, стабилизированных желатином и хитозаном, по размерам. Как видно из рисунка 2, средний размер NPS составляет 20-40 нм в случае применения хитозана в качестве стабилизатора и 30-60 нм в случае использования желатина.

Немаловажным в изучении растворов NPS является оценка их стабильности в различные промежутки времени. Для этого нами были изучены спектры оптической плотности свежеприготовленных растворов и растворов после длительного хранения без доступа солнечного света. На рисунке 3 изображен спектр оптической плотности раствор NPS, стабилизированных желатином. Аналогичная зависимость получена и в случае использования хитозана.

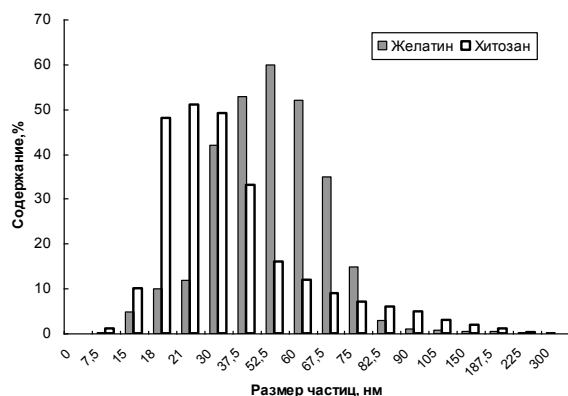


Рис. 2 – Дисперсионный состав коллоидного раствора NPS

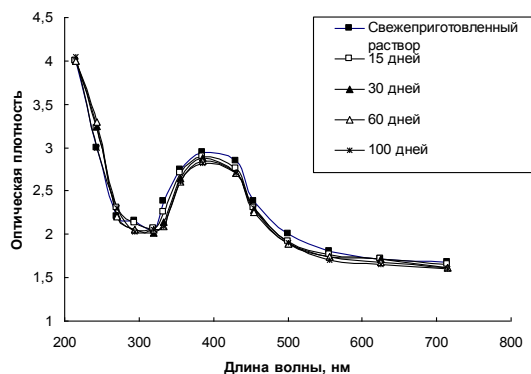


Рис. 3 – Спектр оптической плотности коллоидного раствора NPS при хранении

Как видно из приведенных графиков (рис.4) с течением времени значительных изменений в растворе не происходит, воспроизводимость оптических спектров коллоидного раствора серебра при хранении позволяет сделать вывод о стабильности получаемых систем. Стабильность NPS в растворе обусловлена тем, что стабилизатор создает вокруг частиц защитную оболочку, препятствующую агрегации частиц, а так же их окислению.

Таким образом, в работе дана характеристика коллоидного раствора NPS, полученного методом электрохимического растворения металла в водной среде в присутствии органических стабилизаторов.

Список литературы:

1. Патент РФ № 2008127628/15, 27.05.2010. Крейцберг Г.Н., Голиков И.В., Завойстый И.В., Уставщиков О.Б. Способ получения наночастиц серебра в водной среде// Патент России № 2390344. 2008. Бюл. №15
2. Лурье Ю.Ю. Справочник по аналитической химии. 5 – изд., перераб. и доп.- М.: Химия. 1979. – С. 480.
3. Крейцберг О. Г. Получение коллоидных растворов серебра и меди и исследование их свойств: дипл. раб. – Ярославль, 2009. – 29 с.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

05.16.07

О.С. Анисимова к.т.н., А.Р. Барашев, С.В. Карелов д.т.н., С.В. Мамяченков д.т.н.

Уральский Федеральный Университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина,
металлургический факультет, кафедра металлургии тяжелых цветных металлов,
Россия, Екатеринбург
Barashev_Aleksey@mail.ru

ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПЛЕКСООБРАЗУЮЩЕГО РЕАГЕНТА ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ ОТРАБОТАННЫХ ЩЕЛОЧНЫХ АККУМУЛЯТОРОВ

Проведены исследование по изучению комплексообразования этилендиаминтетраацетата натрия с соединениями кадмия, железа и никеля, наличие которых возможно в исходном сырье. Полученные результаты позволяют оценить возможность использования ЭДТА в качестве комплексообразующего растворителя в технологии по переработке никель-кадмиевых батарей.

Ключевые слова: Ni-Cd аккумуляторы, кадмийсодержащая ламель, выщелачивание, механизм комплексообразования.

Отработанные никель-кадмиевые источники питания представляют собой сложное многокомпонентное сырье. Входящие в состав ламелей соединения близки по своим физико-химическим свойствам.

Мировой опыт переработки кадмийсодержащих отходов показал перспективность гидрометаллургических методов, включающих операции выщелачивания, осаждения малорастворимых соединений, электролиза и т.п. [1].

Существующие способы не позволяют достичь высокого извлечения и приемлемого качества продукта. Недостатками сернокислотного способа являются низкая степень извлечения кадмия за счет потерь его с железо- и никельсодержащими промпродуктами, технологические трудности фильтрации пульпы, отмывки осадков и очистки промышленных растворов. Применение аммиака ограничено его летучестью и проблематичностью регенерации.

Актуально проведение исследований с целью создания альтернативной технологии переработки кадмийсодержащих отходов, основанной на использовании в качестве выщелачивающего (комплексообразующего) реагента этилендиаминтетраацетата натрия (ЭДТА).

В состав кадмийсодержащего скрапа, полученного при измельчении отрицательных ламелей, могут входить следующие металлы и их соединения: Cd, Fe, CdO, Fe₂O₃, FeO, NiO.

В лабораторных условиях были проведены исследования по выщелачиванию в растворе ЭДТА синтетических оксидов, наличие которых возможно в исходном сырье. Для этой цели был приготовлен 0.1 М раствор ЭДТА, исходный pH которого составил 5.36.

В приготовленный раствор ЭДТА объемом 50 мл засыпали навеску реактивного CdO. Продолжительность выщелачивания составляла 60 минут (Рис. 1 кривая 1).

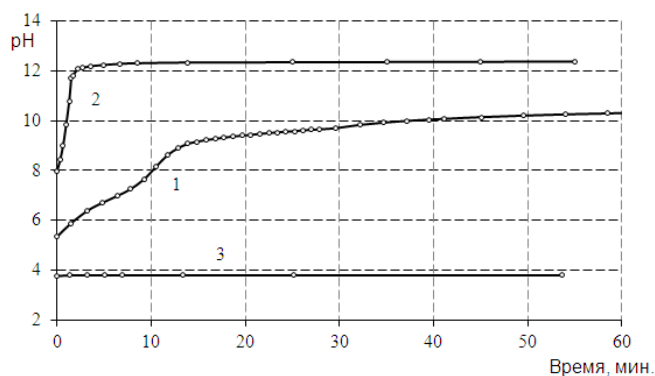


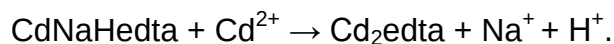
Рис. 1- Выщелачивание CdO в растворе ЭДТА

По виду кривой 1 можно сказать, что комплексообразование идет ступенчато. Предположительно, это связано с депротонированием молекулы ЭДТА. В области значений pH от 5.46 до 6.4 ЭДТА находится в форме H_2edta^{2-} .

С ростом pH, который обусловлен, во-первых щелочным характером оксида кадмия, а во-вторых образованием щелочи при взаимодействии свободного катиона натрия, с молекулой воды, происходит замещение иона натрия, совместно с замещением катиона водорода на катион кадмия. Это взаимодействие можно описать следующим уравнением:

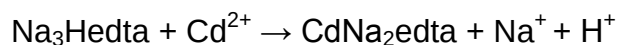


Во второй области (pH 7-10) происходит повторное депротонирование соли ЭДТА с совместным отрывом катиона натрия, и замещением их на катион кадмия по схеме:



В дальнейшем, для понимания процесса комплексообразования, выщелачивание проводили при различных начальных значениях pH раствора комплексообразователя. Показатель кислотности контролировали 0.1 М NaOH (кривая 2) и 0.5 М H_2SO_4 (кривая 3).

Опыт с исходным значением pH раствора равным 8 (кривая 2) подтверждает, что ЭДТА в основном представлен в виде тринатриевой соли. При добавлении оксида кадмия происходит комплексообразование с непосредственным замещением катионов натрия и водорода по реакции:



Дальнейшее протекание процесса сопровождается замещением катионов натрия с образованием комплекса Cd_2edta , как и в предыдущем опыте.

Взаимодействие в кислой области (кривая 3) позволяет сделать вывод о диссоциации в равных соотношениях; как катионов водорода которые повышают кислотность среды, так и свободных катионов натрия, которые, взаимодействуя с водой, образуют щелочь. В результате образования в эквивалентных количествах двух катионов, pH среды при комплексообразовании не меняется.

Следующим этапом было проведение серии опытов по выщелачиванию оксида никеля и оксида железа, (Рис. 2). Полученный результат, неизменность pH на протяжении опыта, позволяет сделать вывод, что образования комплексов не происходит во всем диапазоне pH.

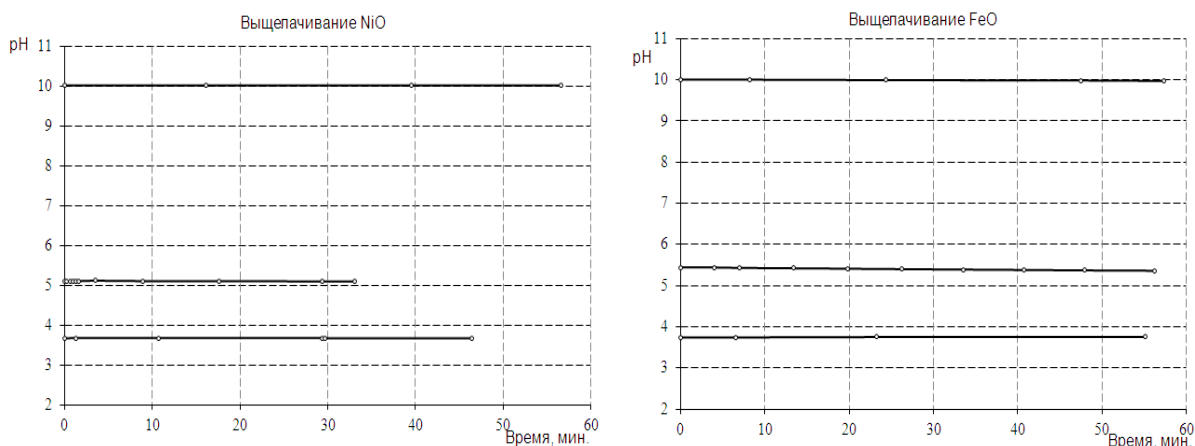


Рис. 2- Выщелачивание NiO, FeO в растворе ЭДТА

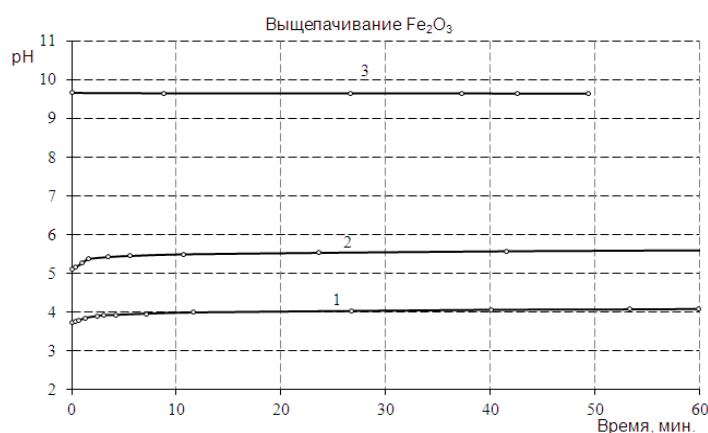


Рис. 3- Выщелачивание Fe₂O₃ в растворе ЭДТА

При выщелачивании оксида железа (III) было выявлено, что в кислой области возможно образование небольшого количества железо-трилонатного комплекса (Рис. 3 кривые 1-2). В щелочной области, в которой в последующем планируется проводить выщелачивание сырья, образование комплексов с железом не замечено (кривая 3).

Результаты поставленных экспериментов наглядно подтверждают возможность использования ЭДТА в качестве комплексообразующего растворителя при переработке никель-кадмиевых батарей, поскольку область комплексообразования с железом и кадмием находятся в разных значениях pH среды: кадмия в щелочной, а железа - в кислой.

Проведение опытов с использованием синтетических реактивов подтвердило предположения о способности комплексообразующего реагента ЭДТА образовывать стабильный комплекс с кадмием, и практически не образовывать их с другими ионами, которые присутствуют в исходном сырье. Следовательно, при применении щелочного раствора этилендиаминтетраацетата обеспечивается избирательное растворение оксида кадмия, а оксиды железа и другие примеси практически в неизменном виде остаются в твердой фазе.

Список литературы:

1. Rudnik E.K., Nikiel M.P., Hydrometallurgical recovery of cadmium and nickel from spent Ni-Cd batteries // Hydrometallurgy. 2007. Vol. 89, № 1-2, P. 61-71.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (Госконтракт № 02.740.11.0821)

О.С. Анисимова к.т.н., С.В. Карелов д.т.н., Д.А. Рогожников, С.В. Мамяченков д.т.н.

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина,
металлургический факультет, кафедра МТЦМ,
г. Екатеринбург, Россия
bikkembergs87@yandex.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ СЕЛЕКТИВНОГО ВЫДЕЛЕНИЯ СВИНЦА ИЗ АЗОТНОКИСЛЫХ РАСТВОРОВ КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ МНОГОКОМПОНЕНТНОГО ВТОРИЧНОГО СЫРЬЯ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

Исследование комплексной переработки многокомпонентного вторичного сырья с селективным извлечением цветных металлов позволяет решить ряд серьезных проблем, таких как утилизация техногенных отходов, следовательно, уменьшение вреда, наносимого окружающей среде. Изучено осаждение сульфата свинца, подобраны оптимальные параметры ведения процесса.

Ключевые слова: комплексность, азотнокислородное выщелачивание, свинец.

Одним из наиболее ценных источников техногенного сырья, содержащего цветные металлы, является так называемый «электронный лом» – лом и отходы электронного и электротехнического оборудования. В настоящее время в России образовалось огромное количество электронного лома – десятки миллионов тонн имеющего потребительскую ценность сырья. Создание новых технологий, модернизация производства по переработке этих многокомпонентных отходов позволит металлургическим предприятиям существенно сократить вред, наносимый окружающей среде и даст возможность получения дополнительного экономического эффекта при выпуске товарной продукции.

Отсюда следует сделать вывод о высокой актуальности разработки технологии комплексной переработки электронного лома, включающей селективное постадийное извлечение цветных и черных металлов, позволяющей вести технологический процесс в соответствии с нормами и требованиями природоохранных ведомств.

Сырьем для исследований являлись отработанные печатные платы, из которых были извлечены все детали, содержащие благородные металлы (Au, МПГ). Лом содержит до 2.5 % Ag, 23 % Cu, 3 % Pb – такие высокие показатели позволяют считать платы богатым по содержанию цветных металлов сырьем [1].

Схема переработки включает последовательное проведение следующих технологических операций:

- выщелачивание сырья в 50 %-ной азотной кислоте. Олово, в отличие от остальных компонентов раствора, гидролизует и осаждается в виде метаоловянной кислоты, которая идет на получение SnMe ;
- осаждение серебра соляной кислотой в виде AgCl с дальнейшим получением металлического серебра;
- очистка раствора от железа с применением нитрилтриметиленфос-фоновой кислоты (НТФ) с образованием устойчивых нерастворимых полиядерных протонированных комплексонатов состава $\text{Fe}_3\text{H}_3(\text{ntrph})_2$. Полупродукт отправляется на предприятия черной металлургии для получения ценной железо-фосфорной лигатуры;
- электроэкстракция меди из нитратного раствора с возвратом отработанного электролита на стадию выщелачивания;
- селективное осаждение свинца из азотнокислого раствора.

Выделение свинца из многокомпонентного нитратного раствора осуществляли осаждением его в виде сульфата при помощи серной кислоты. Известно, что из находящихся в растворе катионов металлов образование нерастворимого осадка с сульфат-ионом наиболее вероятно для иона свинца.

В связи с недостаточным количеством опубликованных в открытой печати данных было необходимо определить оптимальные параметры ведения данного процесса, в частности, изучить влияние концентрации азотнокислых растворов на полноту протекания реакции осаждения сульфата свинца.

Были подготовлены модельные растворы нитрата свинца. Концентрация Pb^{2+} в растворе составляла 3 г/дм^3 , что соответствовало анализу реальных растворов, полученных при выщелачивании электронного лома. Объем растворов 20 мл. Концентрация нитрат-ионов варьировалась в интервале $0.01 \div 1 \text{ моль/дм}^3$. Осаждение проводили при концентрации серной кислоты 5 моль/дм^3 . Приняли три фиксированных объема серной кислоты: 0.058 мл – теоретический (в соответствии со стехиометрией), 0.03 – недостаток и 0.08 – избыток.

В стакан с раствором нитрата свинца добавляли серную кислоту при постоянном перемешивании. Для полного взаимодействия реакцию проводили в течение 2 часов – необходимого времени, уточненного затем в ходе дальнейших исследований. Затем полученную пульпу фильтровали, осадок промывали и высушивали. Раствор подвергался атомно-абсорбционному анализу. По остаточным концентрациям Pb в растворе велся расчет его извлечения α в сульфатный осадок:

$$\alpha = 100 \% - C_i \times 100 / C_0,$$

где C_i – остаточная концентрация свинца в растворе для i-ого опыта, C_0 – начальная концентрация свинца в растворе (3 г/дм^3).

Из анализа полученных зависимостей (рис.1) следует, что максимальное извлечение свинца в осадок достигается при концентрации нитрат-ионов 0.1 моль/дм^3 и избытке серной кислоты и составляет 99.7 %.

Снижение извлечения Pb при повышении концентрации нитрат-ионов более 0.1 моль/дм^3 , возможно, объясняется обратным растворением $PbSO_4$ в HNO_3 – с повышением концентрации азотной кислоты растворимость сульфата свинца увеличивается.

При понижении концентрации HNO_3 до 0.01 моль/дм^3 также наблюдается снижение извлечения свинца. Это может быть связано с образованием гидроксонитратов переменного состава $Pb(OH)_x(NO_3)_y$.

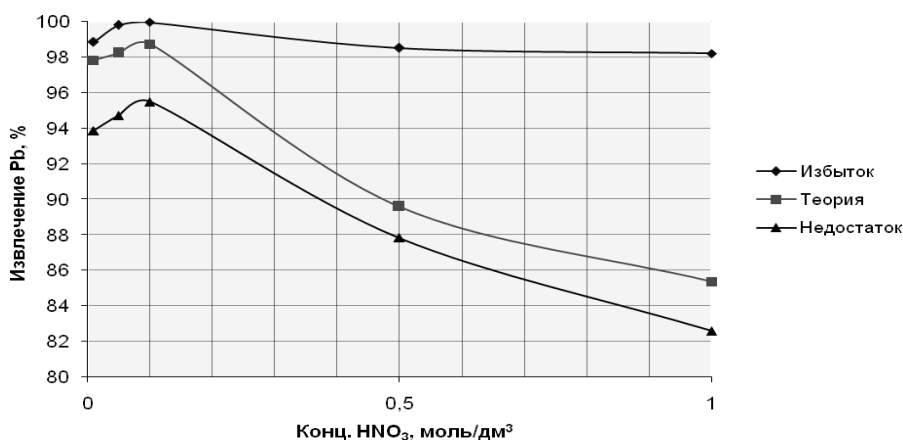


Рис. 1 – Зависимость извлечения свинца в нерастворимый осадок от концентрации азотной кислоты при различных объемах серной кислоты

Помимо этого с повышением pH раствора могут образовываться нитратокомплексы $[\text{Pb}(\text{NO}_3)_3]^-$, $[\text{Pb}(\text{NO}_3)_4]^{2-}$ и $[\text{Pb}(\text{NO}_3)_6]^{3-}$, препятствующие осаждению свинца в виде сульфата.

Далее изучалось влияние концентрации серной кислоты на полноту извлечения свинца в сульфатный осадок, для чего были приготовлены модельные растворы нитрата свинца с аналогичными параметрами и концентрацией нитрат-ионов 0.1 моль/дм^3 , концентрация сульфат-ионов варьировалась в интервале $0.5 \div 15 \text{ моль/дм}^3$. Опыты показали, что при добавлении серной кислоты с недостатком от стехиометрического количества извлечение свинца достаточно мало вследствие нехватки сульфат-иона, поэтому на графиках зависимости извлечения свинца в осадок от концентрации серной кислоты (рис. 2) изображены показатели процесса только для избыточного и теоретического объема H_2SO_4 .

Результаты показывают, что оптимальная концентрация сульфат-иона в осадителе, при которой достигается максимальное извлечение Pb в осадок (99.7 %), 5 моль/дм^3 .

При увеличении концентрации H_2SO_4 более 5 моль/дм^3 , по-видимому, осадок сульфата свинца становится растворимым за счет комплексообразования, при том, в тем большей мере, чем выше концентрация серной кислоты. Поэтому остаточная концентрация Pb^{2+} в растворе растет.

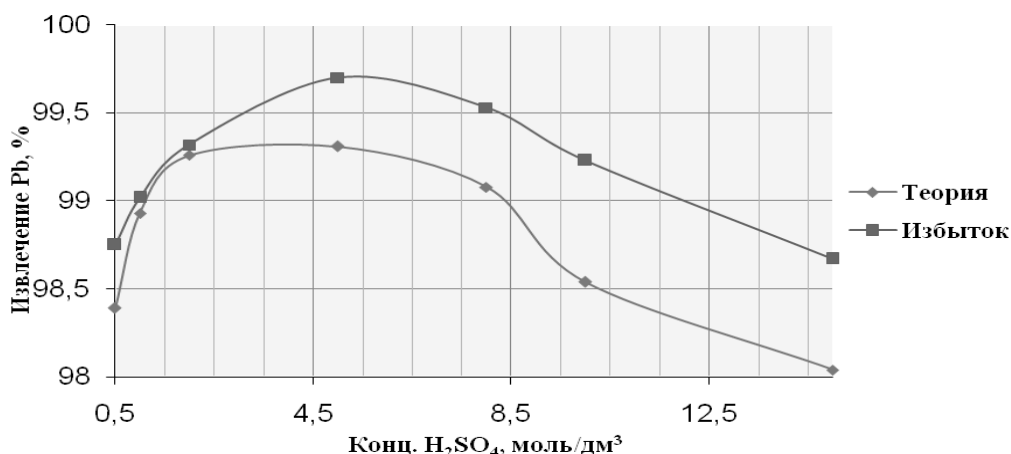


Рис. 2 – Зависимость извлечения свинца в осадок от концентрации серной кислоты при различных объемах осаждающего реагента

Причиной уменьшения извлечения Pb при понижении концентрации сульфат-иона до 0.5 моль/дм^3 может являться вторичное растворение, так как раствор становится менее концентрированным по серной кислоте и растворимость PbSO_4 увеличивается.

Для определения временного фактора также проведена серия опытов. При ранее определенных параметрах ведения технологических операций – концентрации азотнокислого раствора 0.1 моль/дм^3 и концентрации серной кислоты 5 моль/дм^3 – процесс осаждения сульфата свинца вели при шести фиксированных значениях времени: 30, 60, 90, 120, 150 и 180 минут.

Результаты исследований, представленные на рисунке 3, показывают, что оптимальное время ведения процесса составляет 2 часа. За третий час протекания реакции остаточное содержание свинца в растворе практически не меняется.

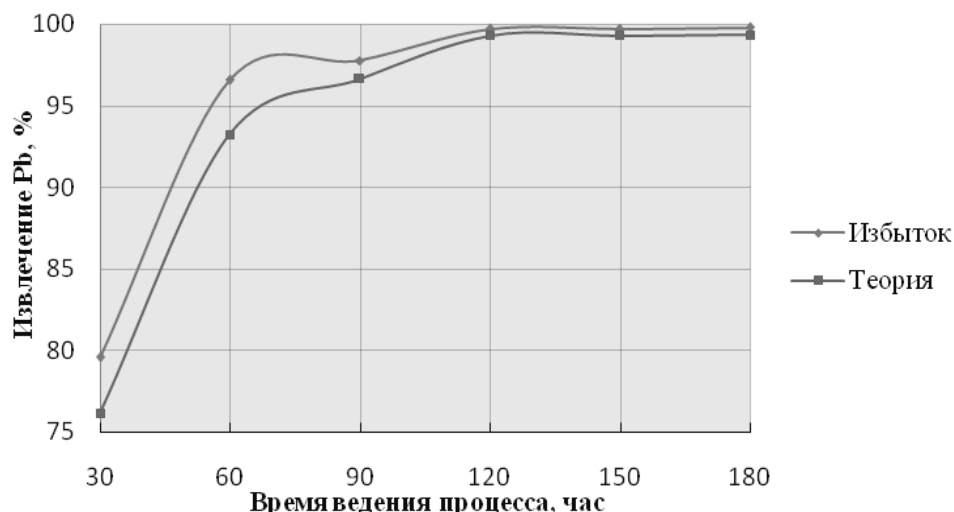


Рис. 3 – Зависимость извлечения свинца в осадок от времени ведения процесса при различных объемах осаждающего реагента

Выводы.

- ✓ Важнейшим преимуществом предлагаемой схемы является комплексность переработки вторичного сырья с селективным извлечением ценных компонентов в товарную продукцию.
- ✓ Замкнутость цикла технологической цепочки, возможность переработки сырья низкой категории позволяет небезосновательно считать ее выгодной с экологической точки зрения.
- ✓ Полученные зависимости полноты извлечения свинца в осадок от концентрации HNO_3 , концентрации H_2SO_4 и временного фактора позволили подобрать оптимальные параметры ведения процесса осаждения сульфата свинца из нитратных растворов, соблюдение которых позволяет добиться извлечения свинца в нерастворимый осадок $\alpha = 99,7\%$.

Список литературы:

1. Котляр Ю.А., Меретуков М.А., Стрижко Л.С. Металлургия благородных металлов: учебник в 2-х книгах. Кн. 2. М.: МИСИС, «Руда и металлы», 2005. С. 278-381.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (государственный контракт № 02.740.11.0821).

О.С. Анисимова к.т.н., С.В. Мамяченков д.т.н., С.С. Набойченко д.т.н., Д. Цогтхангай

Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н.Ельцина,
кафедра металлургии тяжелых цветных металлов,
Россия, Екатеринбург osanis@mail.ru

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ МЕДНОГО КОНЦЕНТРАТА АЗОТНОЙ КИСЛОТОЙ МЕТОДОМ ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

В работе представлены результаты определения оптимальных параметров выщелачивания медного концентрата, полученные методом полного трехфакторного планирования эксперимента.

Ключевые слова: медный концентрат, азотная кислота, матрица планирования эксперимента

Как было показано термодинамическим анализом вероятных взаимодействий минералов медного концентрата с азотной кислотой, продукты реакций обусловлены режимом $E - pH$, регулируя который изменением таких факторов, как соотношение жидкой и твердой фаз (Ж:Т), расход кислоты и продолжительность процесса, можно направлять его на более полное извлечение катионов меди в раствор [1]. Влияние этих факторов на изучаемый процесс оценивали методом математического планирования экспериментов. В качестве параметра оптимизации было выбрано максимальное извлечение меди в раствор (Y).

По технологическим соображениям и термодинамическим выводам исследуемая область факторного пространства заключена в следующих пределах: соотношение Ж : Т (X_1) - 4–8, расход азотной кислоты (X_2) - 4–8 моль кислоты на моль сульфидов (40 – 90 мл на 30г концентрата), продолжительность (X_3) 60– 120 мин. Температура экзотермических реакций взаимодействия сульфидов с азотной кислотой меняется в зависимости от интенсивности процесса практически самопроизвольно, поэтому в качестве регулируемого фактора не учтена. Матрица полного трехфакторного эксперимента представлена в таблице 1.

Для осуществления и контроля процесса выщелачивания медного концентрата в азотной кислоте была собрана специальная лабораторная установка, состоящая из круглодонного стеклянного реактора, снабженного устройством для дозирования кислоты, обратным водяным холодильником для охлаждения отходящих нитрозных газов, герметичным вводом от воздушного компрессора, клапаном для отбора проб и карманом для термометра. Перемешивание осуществляли магнитной мешалкой, для термостатирования и подогрева раствора реактор погружен в песчаную баню.

Отходящие нитрозные газы улавливали в системе стеклянных абсорберов, заполненных раствором гидроксида аммония в смеси с перекисью водорода.

Выщелачивание проводили, распульцовывая сухой измельченный концентрат (-0,74 мкм) массой 30 г определенным объемом воды, с последующим дозированием заданного объема кислоты.

Анализ растворов на содержание ионов меди проводили атомно-адсорбционным методом (AnalitikJena novAA 300).

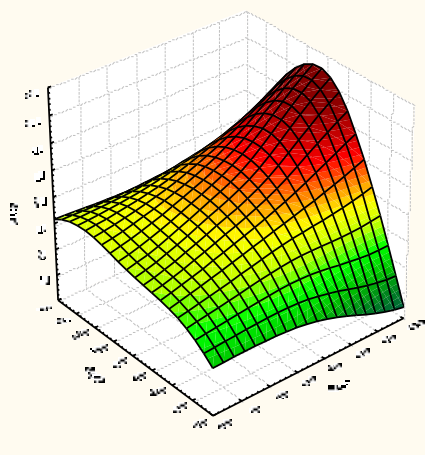
Опыты, оптимизирующие условия выщелачивания, проведены в соответствии с матрицей планирования эксперимента (табл.). Результаты опытов (Y) представлены как степень извлечения меди в раствор.

С помощью компьютерной программы Statistica-7 полученные данные обработаны в виде поверхностей отклика, в которых результирующей функцией (Y) является извлечение ионов меди в раствор, а варьируемыми параметрами выбраны соотношение Ж:Т (X_1), расход

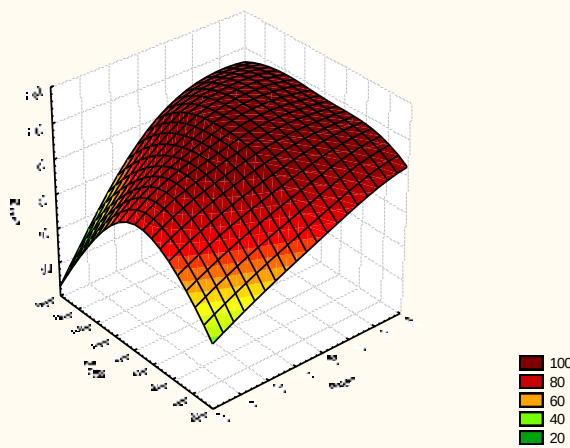
азотной кислоты (X_2) и продолжительность выщелачивания (X_3).

Таблица - Матрица планирования эксперимента 3^3 и результаты выщелачивания медного концентрата

X_1		X_2		X_3		Y
	Ж:Т (расход воды), мл		Расход HNO_3 , мл		Время, мин	Извлечение меди, %
1	8 (150)	1	90	1	120	97.25
-1	4 (30)	1	90	1	120	75.71
1	8 (200)	-1	40	1	120	48.43
-1	4 (80)	-1	40	1	120	65.76
1	8 (150)	1	90	-1	60	90.30
-1	4 (30)	1	90	-1	60	57.20
1	8 (200)	-1	40	-1	60	61.51
-1	4 (80)	-1	40	-1	60	96.49
0	6 (90)	1	90	1	120	88.21
0	6 (90)	1	90	-1	60	75.19
0	6 (140)	-1	40	1	120	45.87
0	6 (140)	-1	40	-1	60	37.99
1	8 (175)	0	65	-1	60	77.53
-1	4 (55)	0	65	1	120	87.68
-1	4 (55)	0	65	-1	60	59.46
1	8 (175)	0	65	1	120	96.89
-1	4 (80)	-1	40	0	90	64.12
1	8 (150)	1	90	0	90	98.11
-1	4 (30)	1	90	0	90	96.48
1	8 (200)	-1	40	0	90	83.76
0	6 (115)	0	65	0	90	82.31
0	6 (115)	0	65	-1	60	62.14
0	6 (115)	0	65	1	120	65.91
0	6 (140)	-1	40	0	90	59.88
0	6 (90)	1	90	0	90	93.17
1	8 (175)	0	65	0	90	95.88
-1	4 (55)	0	65	0	90	74.44



а



б

Рис. 1 - Зависимость извлечения меди в раствор от соотношения жидкое:твёрдое: а- Ж:Т=4; б - Ж:Т=8

Видно, что в плотной пульпе (рис.1 а, Ж:Т=4) максимального извлечения меди можно достигнуть только к завершению процесса, т.е. при продолжительности выщелачивания 120 мин. В более разбавленной системе (рис. 1в, Ж:Т=8) высокие значения концентрации меди наблюдаются уже через 30 -40 мин выщелачивания, практически вне зависимости от расхода кислоты. Следовательно, можно предположить диффузионный контроль скорости суммарной реакции.

Анализируя форму поверхности отклика при варьировании Ж:Т и продолжительности процесса при фиксированном расходе HNO_3 , можно отметить ее «седловидный» характер при недостатке кислоты (рис.2 а) и выражено-выпуклый при достаточной ее концентрации (рис.2 б).

Как показал расчет диаграмм Е-рН [1], при снижении окислительного потенциала системы, вследствие недостатка кислоты, возможно формирование на поверхности растворяющихся частиц концентрата нерастворимых пленок элементарной серы и оксида железа (II). В этом случае происходит изменение механизма растворения, процесс лимитируется внутренней диффузией. Рассчитанный критерий Пиллинга-Бедвордса $K_{\text{п-Б}} = 1,03$, показывает, что формируемая оболочка достаточно плотна, чем и обусловлены внутридиффузионные ограничения скорости выщелачивания.

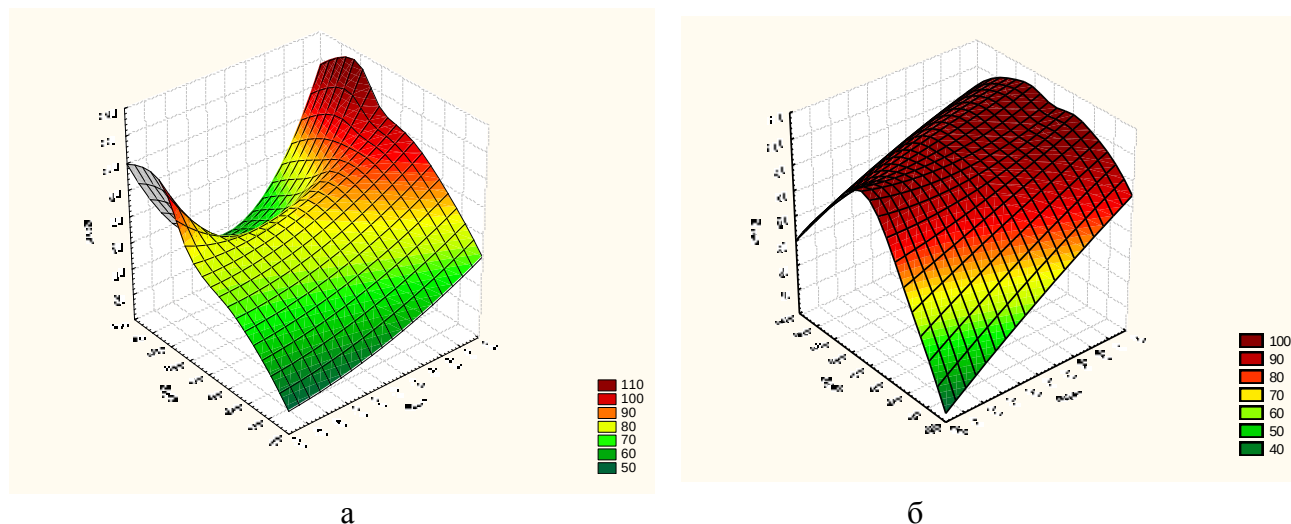


Рис. 2 - Зависимость степени извлечения меди от расхода кислоты, мл:
а - 40; б - 90

Исследования при фиксированной продолжительности процесса : 60, 90 и 120 минут позволили выявить взаимное влияние плотности пульпы и расхода кислоты на эффективность выщелачивания (рис.3-а, б,). Видно, что при ограниченном времени процесса в большей степени сказывается плотность пульпы, с увеличением времени выщелачивания, по мере растворения большей части концентрата, соотношение жидкое:твердое увеличивается самопроизвольно, и тогда превалирующим фактором становится концентрация кислоты.

Проанализировав влияние всех трех факторов на результативность выщелачивания медного концентрата азотной кислотой, видим, что наибольший вклад, повышающий степень извлечения, вносит расход кислоты, а именно, изменение ее концентрации в ходе процесса. Плотность пульпы (Ж:Т), уменьшающаяся в результате растворения частиц концентрата, может быть принята в начальный момент, как максимальная, т.е. Ж:Т=4. Продолжительность выщелачивания, позволяющая достигнуть степени извлечения меди более 90%, составляет, следуя диаграммам, 90 минут.

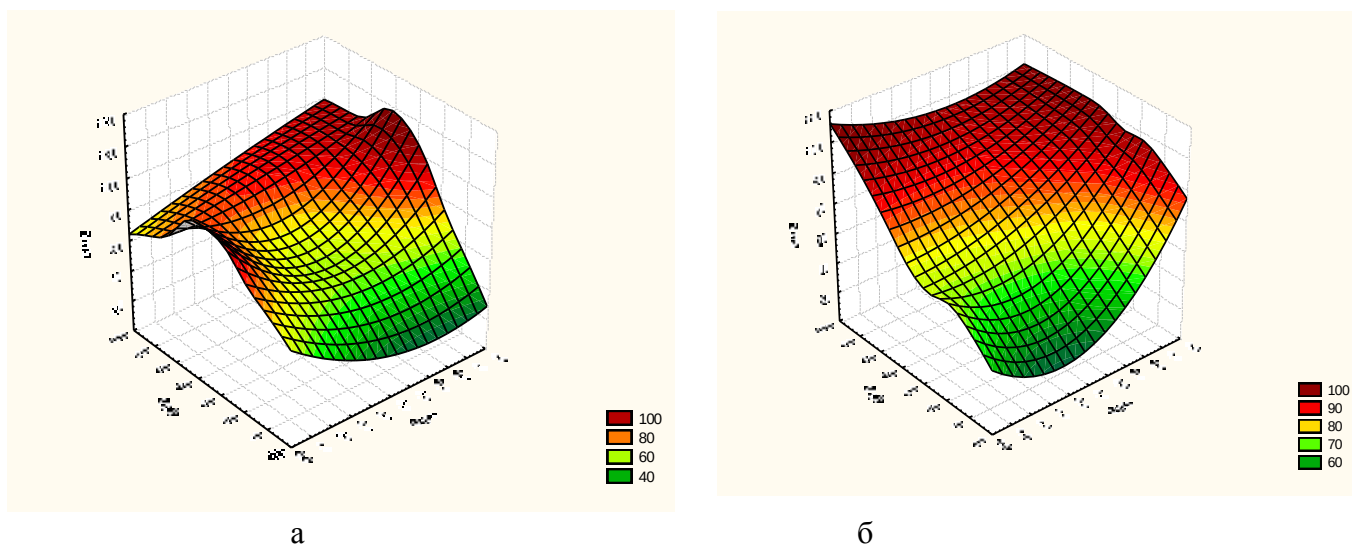


Рис. 3 - Зависимость степени извлечения меди от продолжительности выщелачивания, мин: а - 90; б - 120

Таким образом, условия проведения последующих кинетических исследований определены, как Ж:Т=4, расход кислоты 90 мл на навеску концентрата в 30 г, продолжительность процесса- 90 минут.

Список литературы

1. Д. Цогтхангай, С.В. Мамяченков, О.С. Анисимова, С.С. Набойченко. Термодинамика реакций при азотнокислом выщелачивании минералов медного концентрата // Изв.вузов. Цветная металлургия. 2011. №2. С. 11-15

Статья подготовлена при поддержке федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009-2013 годы» (Государственный контракт № 02.740.11.0821).

05.11.16.

**С.А. Антонов к.э.н., Ю.К. Евдокимов д.т.н., А.Ю. Кирсанов к.т.н., Д.В. Погодин к.т.н.,
Р.Г. Насырова к.т.н.**

Казанский государственный технический университет им. А.Н.Туполева,
институт радиоэлектроники и телекоммуникаций, кафедра радиоэлектроники и
информационно-измерительной техники
Россия, Казань
evdokimov1@mail.ru

ВИРТУАЛЬНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ОРИЕНТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Статья посвящена применению современных информационных технологий для подготовки инженерных кадров в многоуровневой системе образования – от школы до ВУЗа. Представлен комплексный лабораторный практикум на основе технологии виртуальных измерительных приборов, разработанный в среде программирования LabVIEW, в сочетании с применением современных средств мультимедиа. Практикум рекомендуется для ранней профессиональной ориентации, развития технического творчества, получения навыков рабочей специальности в будущей инженерной деятельности.

Ключевые слова: информационные технологии, технология виртуальных приборов, профессиональная ориентация, LabVIEW.

Качество подготовки будущих специалистов зависит от ранней профессиональной ориентации обучающегося, особенно в области инженерного образования. Эффективным средством профессиональной ориентации является создание технопарков и ресурсных центров в учебных заведениях, начиная от общеобразовательной школы до ВУЗа.

Задачей технопарка является раннее знакомство с техникой в школе и навыками рабочей специальности в профессиональном лицее и колледже, получение начальных инженерных навыков при прохождении учебной и производственной практики в вузе. В основе работы такого технопарка лежит использование новых информационных технологий и современного программного обеспечения. В КГТУ им. А.Н. Туполева имеется успешный опыт их использования в учебном процессе [2, 3]. На кафедре радиоэлектроники и информационно-измерительной техники Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева разработан лабораторный практикум по основам электромонтажа электрооборудования летательных аппаратов на основе виртуальных инструментов. Назначение и область применения практикума:

- получение рабочей специальности и переподготовка незанятого населения;
- ранняя профессиональная ориентация (в общеобразовательной школе, лицее, колледже);
- подготовка, переподготовка и повышение квалификации кадров в довузовском, начальном, среднем и высшем образовании;
- повышение качества производственной практики в ВУЗе;
- получение смежной рабочей специальности в колледже или ВУЗе;
- повышение квалификации преподавателей лицеев, колледжей, учителей труда, физики, информатики путем освоения новых информационных технологий – современной среды программирования LabVIEW.

Схематично применение практикума показано на рис. 1.

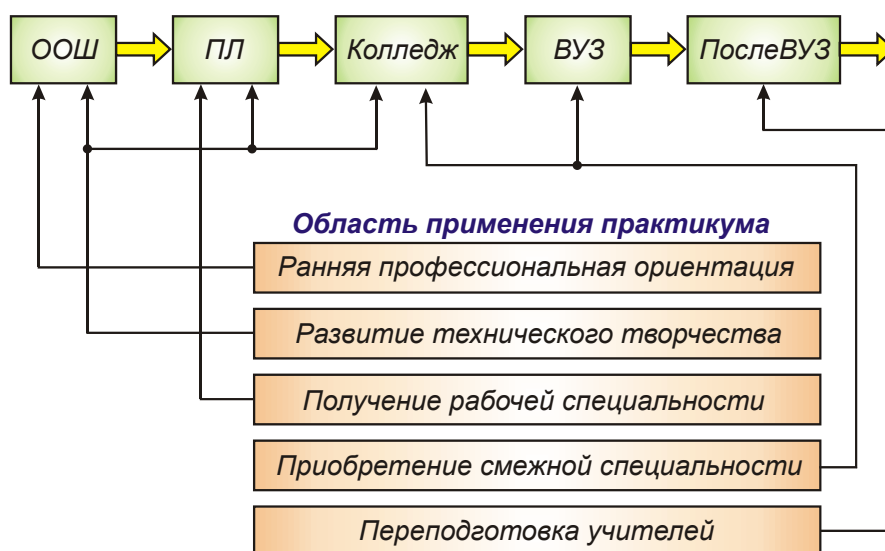


Рис. 1 – Области применения практикума
(ООШ – общеобразовательная школа, ПЛ – профессиональный лицей)

На рис. 2 представлена технология обучения по лабораторному практикуму «Основы электромонтажа электрооборудования» на основе технологии виртуальных приборов.

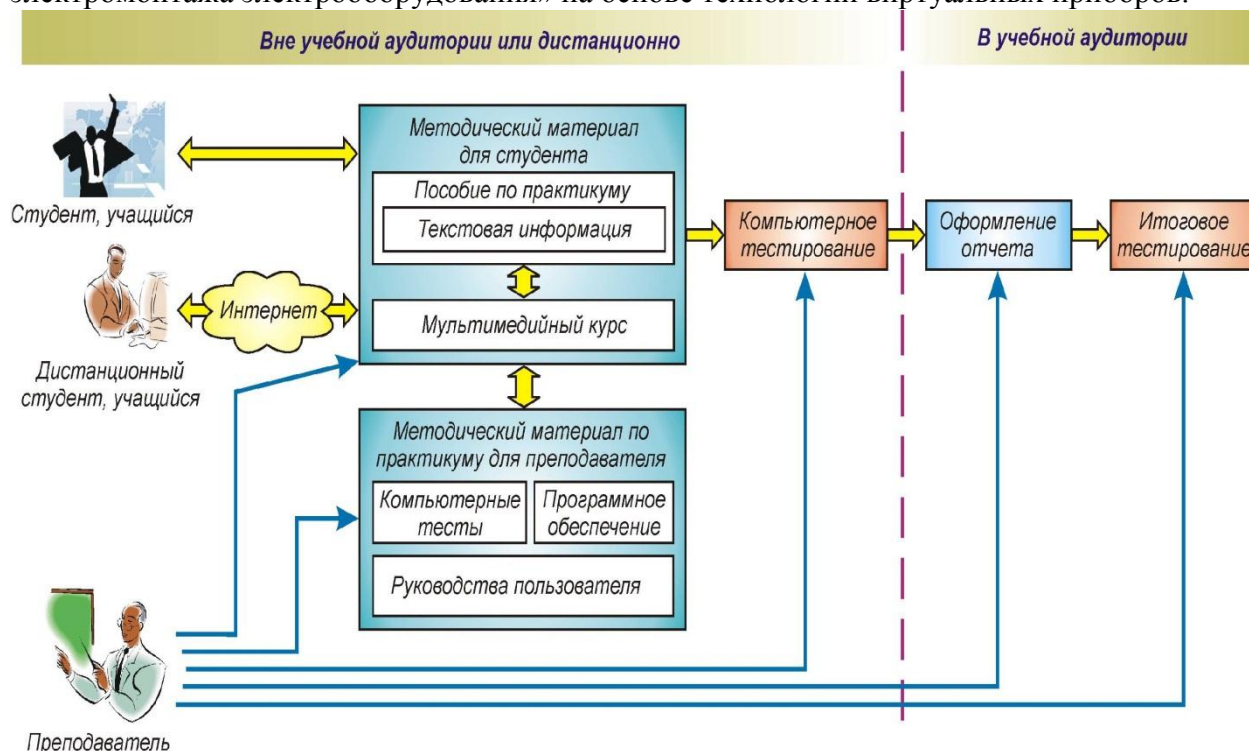


Рис. 2 – Технология обучения при использовании лабораторного практикума «Основы электромонтажа электрооборудования»

Содержание и особенности практикума

Практикум включает *шесть лабораторных работ*, разработанных с использованием технологии виртуальных приборов.

Учебное пособие предназначено для учащихся профессиональных учебных заведений авиастроительной, машиностроительной и приборостроительной промышленности,

обучающихся по специальности «Монтажник электрооборудования летательных аппаратов». Оно также может быть использовано обучающимися родственными специальностями при изучении курса «Электромонтажные работы» и смежных с ним дисциплин. Поэтому все работы лабораторного практикума предваряются теоретическим введением.

Отличительной особенностью настоящего лабораторного практикума является использование современной технологии виртуальных приборов и мультимедийных средств. Мультимедийная обучающая часть комплекса содержит богатую библиотеку цифровых фотографий инструментария, материалов, вспомогательных приспособлений электромонтажника, к которым обучающийся может обращаться как в ходе обучения, так и как к справочному материалу. Кроме того, комплекс содержит обучающий видеоряд с аудио комментариями по соответствующим видам электромонтажных работ в реальных производственных условиях авиационного предприятия, где предстоит работать будущему электромонтажнику. Впоследствии это позволит выпускнику лица значительно быстрее адаптироваться к условиям реального производства.

На рис. 3 показан титульный лист практикума.

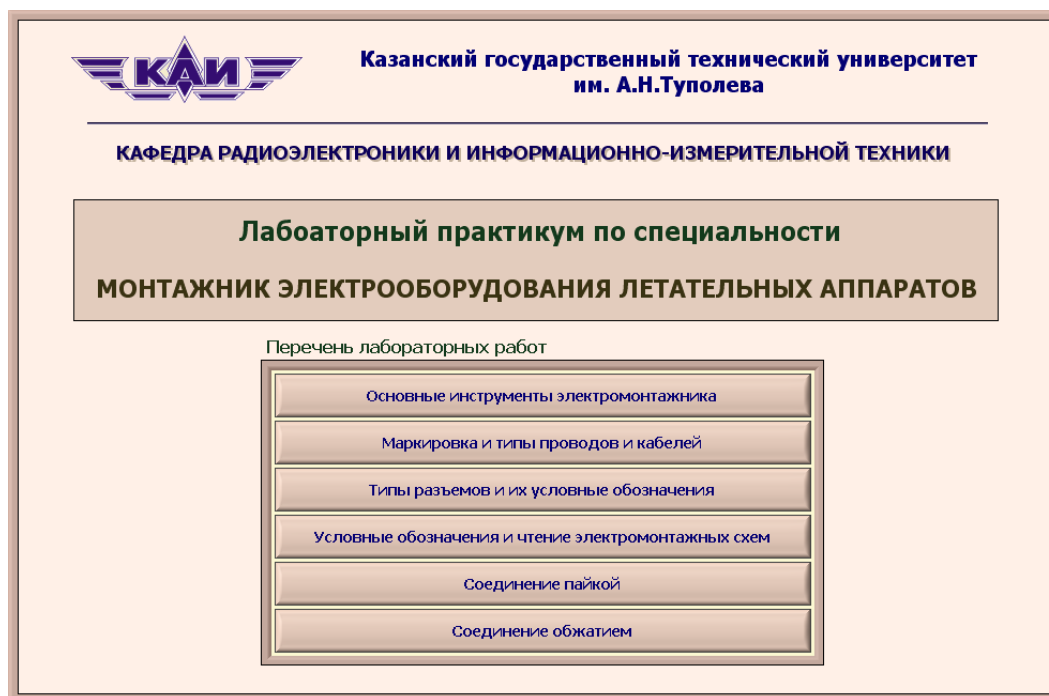


Рис. 3 – Титульный лист программного обеспечения **Aircraft Electric 1.0**©

Средством разработки является среда программирования LabVIEW [1, 4], с помощью которой организован многооконный интерфейс для изучения учебный материалов. Другим *преимуществом использования технологии* LabVIEW является возможность *дистанционного обучения* [3]. В этом случае учащийся получает возможность доступа к обучающему комплексу из любой географической точки через Интернет. Дистанционное выполнение лабораторного практикума существенно расширяет образовательное пространство учебного заведения. Особенно важно применение дистанционной технологии для заочной и вечерней форм обучения.

На рис. 4 представлено рабочее окно практикума.

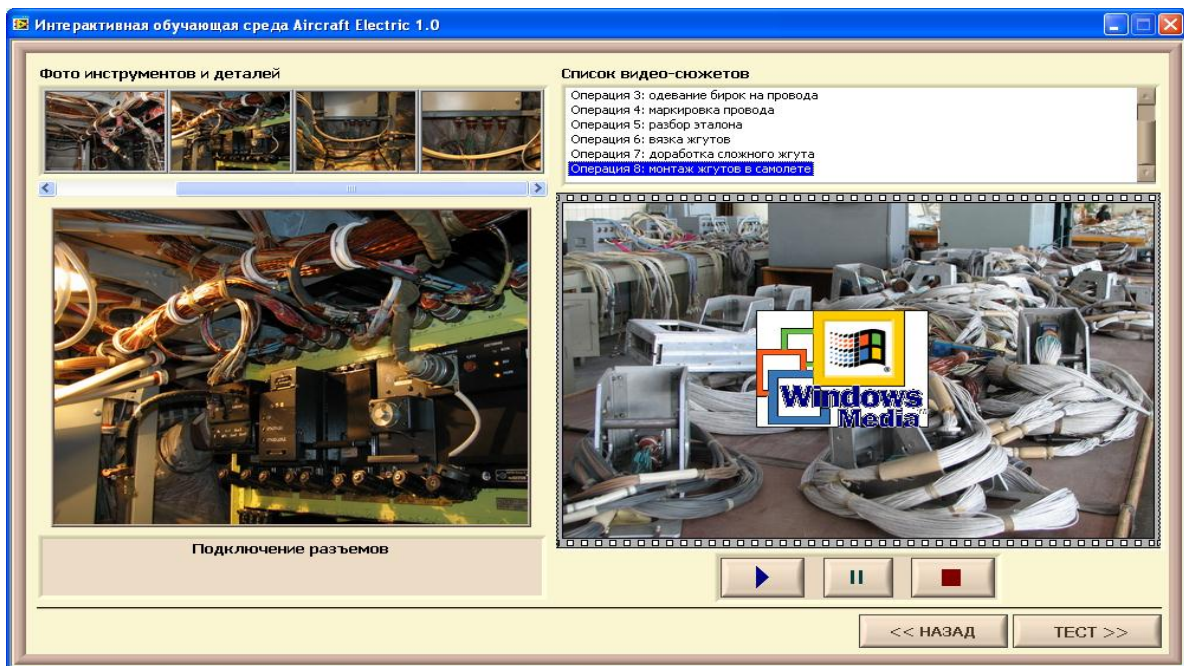


Рис. 4 – Рабочее окно программного обеспечения **Aircraft Electric 1.0**®

В правой части рабочего окна расположены средства просмотра видеороликов по теме выбранной работы. Каждая тема содержит несколько видеофильмов (сюжетов), список которых расположен в окне программного обеспечения.

В левой части рабочего окна расположены средства просмотра фотоизображений, характерных для выбранного сюжета. В верхней левой части рабочего окна содержится список предварительного просмотра с эскизами фотоизображений. Снизу окна расположена полоса прокрутки, позволяющая просматривать все эскизы, расположенные в списке. Для детального просмотра изображения необходимо щелкнуть левой клавишей мыши по требуемому фото. Выбранное фото отображается в крупном виде в окне, расположенном под окном списка предварительного просмотра.

Завершается выполнение лабораторных работ практикума тестированием, этапы которого представлены на рис. 5-7.

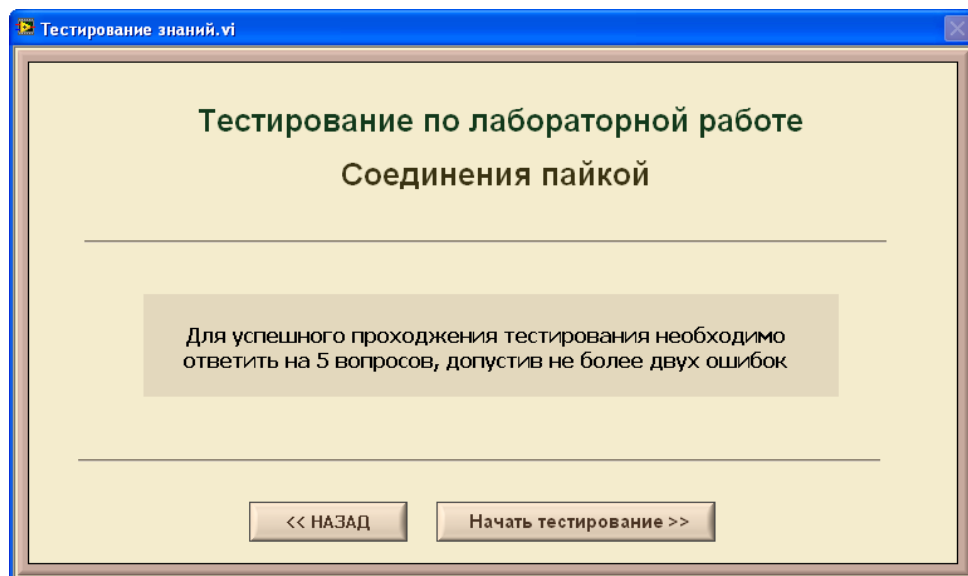


Рис. 5 – Титульный лист среды тестирования знаний

Вопрос 2

Для выполнения каких операций служит инструмент, показанный на рисунке?

- ☐ 1) Обрезка провода;
- ☐ 2) холодное обжатие наконечников;
- ☒ 3) зачистка концов проводов;
- ☐ 4) пайка проводов.



[Следующий вопрос >>](#)

Рис. 6 – Пример тестового вопроса

Результат тестирования

Общее количество вопросов: 5

Количество правильных ответов: 4

Тестирование пройдено!

[<< НАЗАД](#)

Рис. 7 – Результаты прохождения теста

В разработанном комплексном лабораторном практикуме в качестве средства программирования задач, получения и обработки данных выбран программный пакет LabVIEW. Виртуальный лабораторный практикум содержит набор интерактивных экспериментов, выполненных в этой среде. Практикум предназначен для обучения технологии сборки и электромонтажных работ, технологии монтажа электрооборудования. Это позволит освоить навыки профессии электро и радиомонтажника, с помощью средств мультимедиа познакомиться с реальным производством авиационного предприятия. Целевое назначение разработанного комплексного лабораторного практикума охватывает ступени школьного, начального и среднего профессионального образования от ранней профессиональной ориентации до получения навыков рабочей специальности. Использование новых информационных технологий улучшает качество получаемых знаний и делает этот процесс наглядным и привлекательным.

Выводы

Информационные технологии играют важную роль для подготовки инженерных кадров. Применение среды Lab VIEW позволяет существенно улучшить качество учебного процесса за счет его интенсификации и практической направленности.

Применение виртуальных лабораторий в курсовом проектировании дает возможность самостоятельно предлагать и проверять работоспособность новых технических решений и, в целом, способствует подготовке специалистов, соответствующих современному уровню развития техники.

Применение технологии виртуальных измерительных приборов фирмы National Instruments обеспечивает следующие преимущества:

- 1) возможность организации фронтального выполнения лабораторных работ;
- 2) возможность дистанционного выполнения лабораторных исследований, что особенно актуально при организации заочной и дистанционной форм обучения;
- 3) высокая степень техники безопасности при проведении лабораторных исследований;
- 4) возможность проведения экспериментов на новейшей элементной базе;
- 5) унификация лабораторных исследований, которые проводятся в рамках различных дисциплин;
- 6) выполнение реального курсового проектирования;
- 7) возможность хранения и анализа больших массивов экспериментальных данных;
- 8) возможность многократного повторения экспериментальных исследований при идентичных условиях проведения эксперимента.

Список литературы:

1. Евдокимов Ю.К., Линдваль В.Р., Щербаков Г.И. LabVIEW для радиоинженера: от виртуальной модели до реального прибора. Практическое руководство для работы в программной среде LabVIEW – М.: ДМК Пресс, 2007. – 400 с.
2. Евдокимов Ю.К., Кирсанов А.Ю., Сагдиев Р.К., Шахтурин Д.В. Разработка автоматизированных лабораторных практикумов по электротехническим специальностям // Сборник трудов VIII Международной научно-практической конференции «Образовательные, научные и инженерные приложения в среде LabVIEW и технологии National Instruments». Москва, Россия. 20-21 ноября, 2009. – 321-323 с.
3. Евдокимов Ю.К., Кирсанов А.Ю., Салахова А.Ш. Дистанционные автоматизированные учебные лаборатории и технологии дистанционного учебного эксперимента в техническом вузе // Открытое образование, № 5, 2009. – 101-116 с.
4. Жарков Ф.П., Каратаев В.В., Никифоров В.Ф., Панов В.С. Использование виртуальных инструментов LabVIEW – М.: Салон-Р, Радио и связь, Горячая линия-Телеком, 1999. – 268 с.

И.А. Апкаров, К.К. Колосов

Астраханский государственный технический университет

Россия, Астрахань

kolosovkk@yandex.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ВНЕШНИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБАХ СМЕСЕОБРАЗОВАНИЯ

Представлена экспериментальная моторная установка на базе судового малоразмерного дизеля 2Ч 9,5/11, позволяющая проводить экспериментальные исследования газодизельного цикла при организации его в данном дизеле при различных формах камеры сгорания. Представлены результаты экспериментальных исследований внешних показателей работы судового дизеля 2Ч 9,5/11 при различных способах смесеобразования (вихрекамерный дизель и дизель с камерой сгорания типа ЦНИДИ, расположенной в поршне). Результаты представлены при работе двигателей по винтовой и нагрузочной характеристикам. Проведен анализ полученных результатов, которые будут использованы в дальнейшем в качестве отправной точки для сравнения при исследованиях газодизельного цикла.

Ключевые слова: ДВС, судовые дизели, газодизельный цикл, вихрекамерное смесеобразование.

С каждым годом проблема экономии природных ресурсов и экологической безопасности судовой энергетики становится все более острой. Характерные для современных ДВС способы преобразования химической энергии топлив в механическую работу сохраняются и в обозримом будущем, поэтому, с учётом постоянного расширения их количества и агрегатной мощности, всё большим становится уровень загрязнения среды обитания человека отработавшими продуктами сгорания. В этой связи является актуальной необходимость поисковых работ по совершенствованию организации рабочего процесса ДВС, которые должны быть направлены на использование других видов углеводородных топлив, имеющих меньшую стоимость и большие запасы на современном уровне развития добычи полезных ископаемых с целью повышения энергетической эффективности, экономичности и снижения степени загрязнения окружающей среды.

В связи с высокими экологическими и экономическими качествами активно применяется газовое топливо. Одно из перспективных направлений – конвертация дизельного ДВС в газодизель: от дизеля берется уменьшенная порция топлива (запальная) в пределах $10 \div 45$ % от общей цикловой подачи топлива, остальное компенсируется газовоздушной смесью, поступающей через впускной коллектор. Уменьшается токсичность, газодизель по всем параметрам кроме мощности превосходит дизель. Это связано с тем, что теплота сгорания газа ниже таковой дизельного топлива.

В лаборатории тепловых двигателей кафедры «Судостроение и энергетические комплексы морской техники» Астраханского государственного технического университета готовятся экспериментальные исследования судового дизеля типа Ч 9,5/11, работающего по газодизельному циклу. Для экспериментальной отработки и всесторонней оценки показателей опытного образца двигателя необходимо провести комплексные экспериментальные исследования, включающие в себя снятие внешних энергетических показателей, теплосбалансовых характеристик, экономичностных показателей, исследование внутрицилиндровых процессов, а также оценку степени экологической безопасности. При этом вначале, для создания отправной точки, позволяющей проводить сравнение и

выявление характерных особенностей, достоинств и недостатков газодизельного цикла, были проведены комплексные экспериментальные исследования серийного дизеля 2Ч 9,5/11 с двумя типами смесеобразования: вихрекамерный дизель и дизель с камерой сгорания типа ЦНИДИ, расположенной в поршне.

Проводились два цикла исследований: двигателя с вихрекамерным и двигателя с объемно-плёночным смесеобразованием (камера сгорания в поршне типа ЦНИДИ). По окончании цикла исследований двигателя с вихрекамерным смесеобразованием для обеспечения другого вида смесеобразования (камера сгорания в поршне) производится замена поршневой группы и головки цилиндров, а также форсунок. Сравнение всех видов организации рабочего процесса (вихрекамерный дизель, дизель с камерой сгорания в поршне, вихрекамерный газодизель, газодизель с камерой сгорания в поршне) производится на одном двигателе, то есть рабочие цилиндры и системы двигателя остаются неизменными в каждом цикле исследований, что позволяет получить высокую точность сравнения.

Экспериментальная установка смонтирована в лаборатории тепловых двигателей кафедры «Судостроение и энергетические комплексы морской техники» Астраханского государственного технического университета.

Для обеспечения возможности регистрации внутрицилиндровых показателей в обоих циклах исследований головки цилиндров оборудованы датчиками динамического давления. Способы их установки в головку цилиндра каждого типа двигателя подробно описаны в [1]. После проведения комплексов экспериментальных исследований, полученные результаты обработаны и проанализированы. Полученные при проведении индицирования двигателей индикаторные диаграммы обрабатываются с целью получения свернутых индикаторных диаграмм. Обработка производится с применением метода Брикса [2, 3], позволяющего установить связь между углом поворота коленчатого вала и объемом цилиндра V (ходом поршня S).

Полученные параметры работы по нагрузочным и по винтовым характеристикам представлены на рис. 1 – 4.

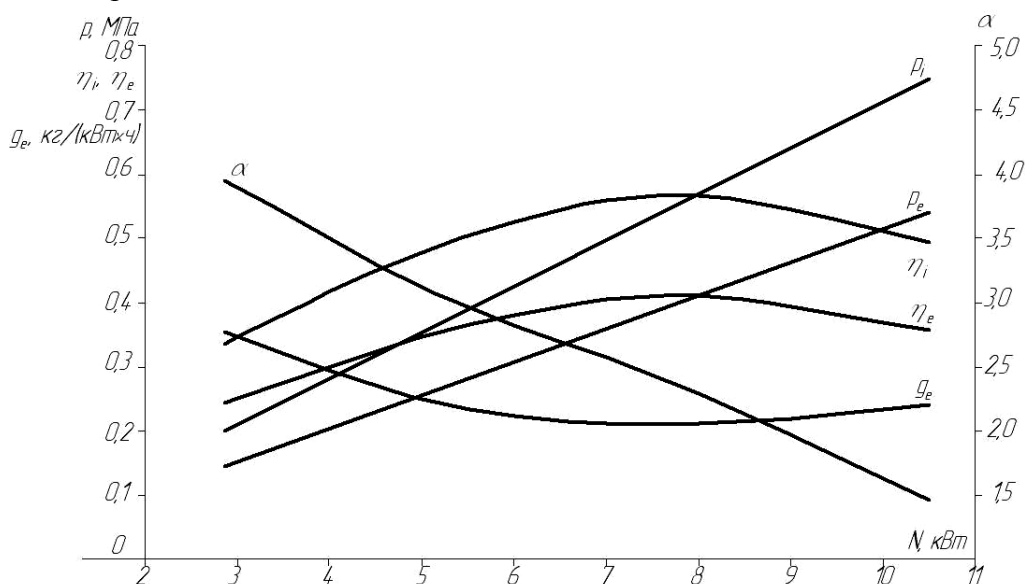


Рис. 1 – Нагрузочная характеристика дизеля с вихревой камерой сгорания

Известные теоретические положения [2, 4, 5] полностью подтверждаются полученными экспериментальными данными. В таблице представлены сводные данные об основных параметрах работы двигателей на номинальных режимах работы, полученные после обработки экспериментальных данных. Как говорилось выше, сравнение различных способов смесеобразования на одном и том же двигателе позволяет выявить особенности

именно смесеобразования, так как остальные факторы остаются неизменными (размеры цилиндра, система охлаждения, а, соответственно, потери в охлаждающую жидкость, потери с отработавшими газами и т.д. и т.п.)

При анализе таблицы можно заметить, что двигатель с камерой сгорания в поршне имеет большие механические потери, что вызвано большим значением максимального давления сгорания. Это подтверждалось также и в ходе эксперимента буквально на слух – вихрекамерный дизель отличался более мягкой работой.

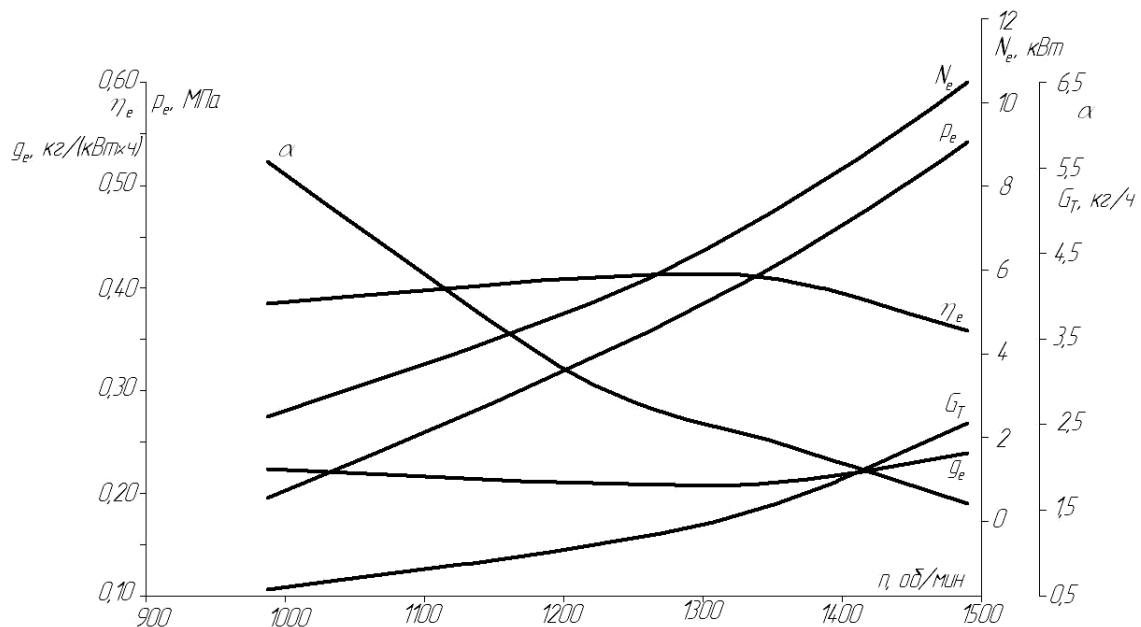


Рис. 2 – Винтовая характеристика дизеля с вихревой камерой сгорания

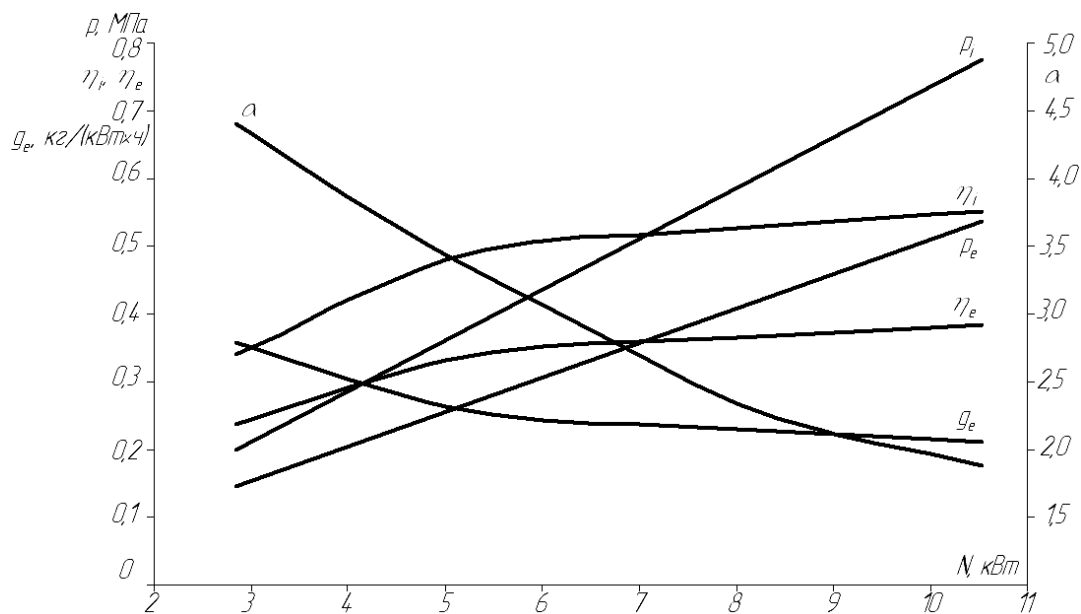


Рис. 3 – Нагрузочная характеристика дизеля с камерой сгорания в поршне

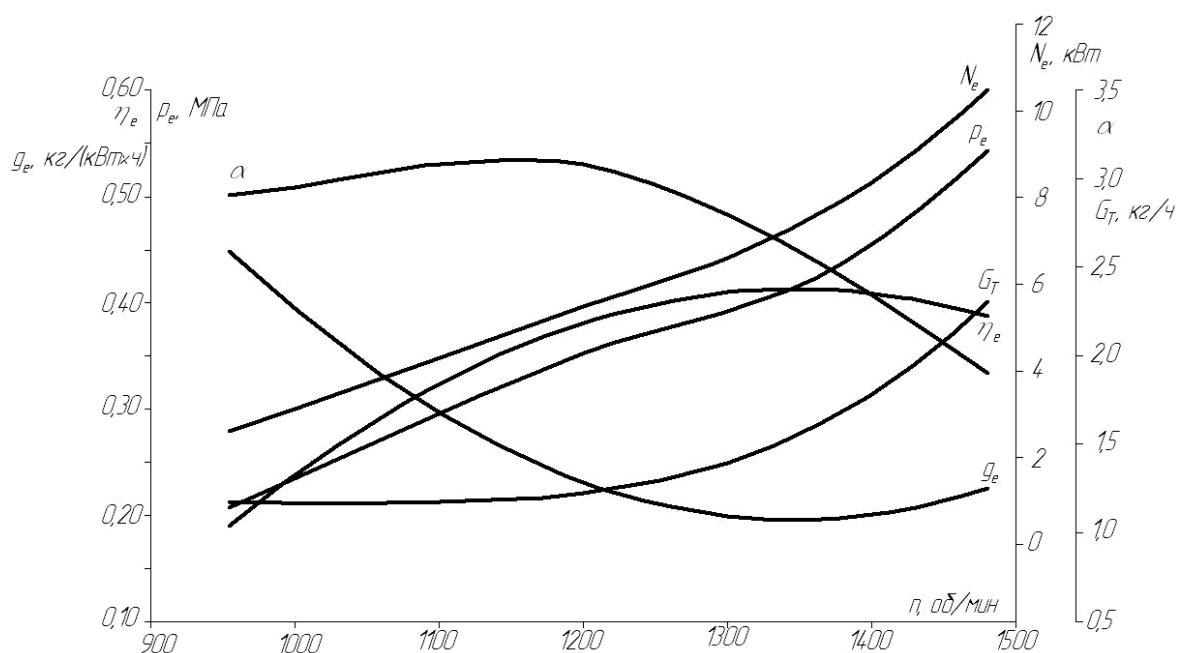


Рис. 4 – Винтовая характеристика дизеля с камерой сгорания в поршне

Таблица – Основные параметры работы двигателей

Параметр	вихревая камера сгорания	камера сгорания в поршне
Эффективная мощность, N_e , кВт	10,50	10,48
Индикаторная мощность, N_i , кВт	14,51	15,09
Мощность механических потерь, N_m , кВт	4,02	4,61
Среднее эффективное давление, p_e , МПа	0,542	0,543
Среднее индикаторное давление, p_i , МПа	0,749	0,782
Максимальное давление сгорания, p_z , МПа	6,753	7,39
Давление в конце сжатия, p_c , МПа	3,727	4,277
Удельный эффективный расход топлива, g_e , кг/(кВт·ч)	0,240	0,222
Эффективный КПД, η_e	0,358	0,388
Индикаторный КПД, η_i	0,496	0,558
Коэффициент избытка воздуха, α	1,47	1,89
Механический КПД, η_m	0,723	0,695

Несмотря на то, что двигатели имеют одинаковую степень сжатия и полученные значения давления в конце сжатия укладываются в пределы, указанные заводом-изготовителем (3,5 – 4,5 МПа), заметно различие, вызванное узкими соединительными каналами между камерами, которые увеличивают тепловые и аэродинамические потери, большей относительной поверхностью камеры сгорания вихрекамерного дизеля, а значит, повышенной площадью теплоотдачи, что и приводит к снижению давления в конце процесса сжатия вихрекамерного дизеля. Кроме того, указанные факторы приводят к увеличению расхода топлива, что видно из таблицы.

Таким образом, анализ полученных экспериментальных данных подтвердил современные тенденции мирового двигателестроения к почти повсеместному отказу от разделенных камер сгорания ввиду их низкой топливной экономичности, несмотря на их высокие экологические показатели.

Полученные результаты являются своеобразной исходной точкой для сравнения с будущими результатами экспериментальных исследований газодизельного цикла при данных формах камеры сгорания.

Список литературы:

1. С.А. Каргин, А.П. Исаев Метод индицирования малоразмерных дизелей // Материалы международной научно-практической конференции «Прогресс транспортных средств и систем», 13 – 15 октября 2009 г., г. Волгоград. ч. 1 / Волгоград. гос. техн. ун-т; редкол.: М.В. Ляшенко (отв. ред.) [и др.]. – Волгоград: Изд-во ВолГТУ, 2009. – с. 261 – 262.
2. Ваншейдт В. А. Судовые двигатели внутреннего сгорания. – Л.: Судостроение, 1977. – 391 с., ил.
3. Двигатели внутреннего сгорания. т. 1 // Под ред. В.Н. Луканина, 1995. – 328 с.
4. «Теория двигателей внутреннего сгорания». Под ред. проф. д. т. н. Н. Х. Дьяченко. – Л.: Машиностроение, 1974. – 552 с., ил.
5. Ленин И. М. «Теория автомобильных и тракторных двигателей». – М.: Машиностроение, 1969. – 368 с., ил.
6. Судовые двигатели внутреннего сгорания: Учебник / Ю. Я. Фомин, А. И. Горбань, В. В. Добровольский, А. И. Лукин и др. – Л.: Судостроение, 1989. – 340 с., ил.

05.17.02.

А.С. Афанасьев, А.С. Волков, А.С. Карпов, М.А. Машковцев, О.И. Ребрин

ФГАОУВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина», Екатеринбург, Россия

karpovant@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР НА СВОЙСТВА ОКСИДНОЙ СИСТЕМЫ Ce-Zr-Al-O

В статье представлены результаты исследования изменения ключевых свойств оксидной системы Ce-Zr-Al-O. В работе выявлены основные закономерности в изменении свойств от массового соотношения элементов композиции, выявлен способ повышения термической устойчивости наноконпозиции.

Ключевые слова: термическая стабильность, оксидная система, оксид церия, оксид циркония, оксид алюминия.

Для нейтрализации вредных газообразных выбросов автомобилей, таких как CO, NO_x, C_mH_n производители автомобилей применяют «three way catalyst» (трёхпроцессные катализаторы - TWC) [1]. В этих устройствах используют смеси наноразмерных (10-50 нм) оксидов металлов (Ce, Zr, Al и других) и благородные металлы (Pt, Pd, Rh) [2,3,4]. Температуры в нейтрализаторе достигают 1000 °С. Высокие температуры приводят к изменению свойств материалов катализатора, что снижает эффективность его работы. В связи с этим важнейшее значение имеет термическая стабильность всех компонентов нейтрализатора. С целью исследования свойств материалов нейтрализатора в ходе его длительной работы, применяют методику термического старения, моделирующую процессы эксплуатации автомобиля.

Традиционным каталитически активным материалом-носителем драгоценных металлов является твёрдый раствор оксида циркония в церии.

В работе исследовано влияние термического старения на свойства оксидной композиции Ce_mZr_nAl_pO_x и индивидуального твёрдого раствора Ce_{0.8}Zr_{0.2}O_x.

Образцы материалов подложки-носителя были получены химико-физическими методами синтеза из растворов нитратов Ce, Zr и Al.

Прямым соосаждением концентрированным раствором аммиака (до pH 10) получали суспензию гидроксидов, которую фильтровали, сушили при 100 °С 1 час и прокаливали при 500 °С в течение 2 часов (свежий).

Термическое старение проводили прокаливанием образцов на воздухе при температуре 1000 °С в течение 2 часов (состаренный).

Определение удельной поверхности и исследование пористой текстуры проводили методом низкотемпературной адсорбции азота (методом БЭТ) на анализаторах ASAP 2400 и TriStar 3000 фирмы Micromeritics.

Снимки просвечивающей электронной микроскопии высокого разрешения (ПЭМБП) получали на приборе JEM-2010.

Рентгенофазовый анализ проводился на дифрактометре Rigaku ULTIMA IV (излучение CuKα) с использованием сцинтилляционного счетчика с кристалл-монокроматором. Исследования проводили с применением высокотемпературной приставки SHT-1500.

В Таблице 1 приведены результаты исследования влияния термического старения на удельную поверхность материалов оксидной системы Ce-Zr-Al-O.

Таблица 1 – Результаты исследования удельной поверхности системы Ce-Zr-Al-O

Состав образца	Удельная поверхность	
	Свежий (500 °C/2 часа), м ² /г	Состаренный (1000 °C/2 часа), м ² /г
Ce _{0.74} Zr _{0.26} O _x	86.2	25.7
(Ce _{0.74} Zr _{0.26} O _x) _{0.9} Al _{0.1} O _{2-n}	96.61	30.93
(Ce _{0.74} Zr _{0.26} O _x) _{0.7} Al _{0.3} O _{2-n}	104.9	34.8
(Ce _{0.74} Zr _{0.26} O _x) _{0.5} Al _{0.5} O _{2-n}	109.04	50.25
Al ₂ O ₃	256	162.6

Данные Таблицы 1 однозначно указывают на снижение удельной поверхности для всех образцов после термического старения. При этом наблюдаются следующие тенденции:

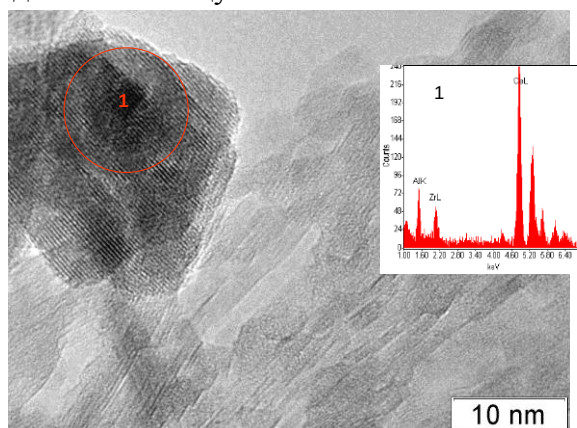
1. Термическое старение снижает удельную поверхность у индивидуального твёрдого раствора Ce_{0.8}Zr_{0.2}O_x, и у индивидуального оксида Al₂O₃;

2. Введение Al₂O₃ повышает термическую стабильность оксидной системы (по сравнению с индивидуальным твёрдым раствором Ce_{0.8}Zr_{0.2}O_x), что выражается в более высоких значениях удельной поверхности. При этом удельная поверхность композиции тем выше, чем выше в ней доля Al₂O₃;

3. Удельная поверхность композиции изменяется не пропорционально изменению долей Al₂O₃ и Ce_{0.8}Zr_{0.2}O_x.

Образец состава Ce_{0.4}Zr_{0.1}Al_{0.5}O_{2-n} обладает наилучшими термостабильными свойствами – он и стал объектом более детального исследования.

На рисунке 1 приведена микрофотография материала Ce_{0.4}Zr_{0.1}Al_{0.5}O_{2-n}, свежего, не прошедшего процедуру термического старения. Результаты определения количественного состава методом EDX сведены в Таблицу 2.

Рис.1- Микрофотография материала Ce_{0.4}Zr_{0.1}Al_{0.5}O_{2-n}, свежий

На снимке видны агрегаты из смеси наноразмерных частиц оксидов алюминия и твердого раствора Ce_{0.8}Zr_{0.2}O_x. При этом чётко различима граница раздела двух фаз: фазы твёрдого раствора Ce_{0.8}Zr_{0.2}O_x и фазы Al₂O₃.

Таблица 2 - Состав (ат.%), образца Ce_{0.4}Zr_{0.1}Al_{0.5}O_{2-n}, свежий (EDX)

Состав образца	Al	Zr	Ce
Интегральный	24.47	8.42	67.11
Область 1	9.64	8.77	81.59

По данным EDX (Таблица 2), интегральный состав полностью соответствует количествам компонентов Ce, Zr, Al, заданным при синтезе. Важным является заниженное содержание в образце Al₂O₃ (~ 25 ат.%, внесено при синтезе 50 ат.%).

На рисунке 2 приведена нанофотография материала $\text{Ce}_{0.4}\text{Zr}_{0.1}\text{Al}_{0.5}\text{O}_{2-n}$, состаренного при 1000 °С, 2 часа. Результаты определения количественного состава методом EDX сведены в Таблицу 3.

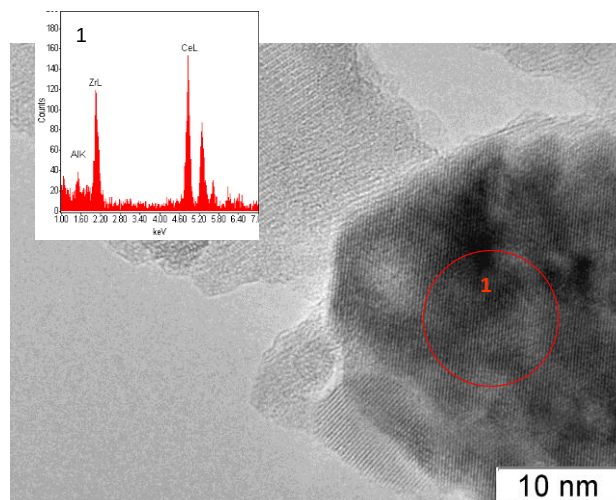


Рисунок 2 - Нанофотография состаренного материала $\text{Ce}_{0.4}\text{Zr}_{0.1}\text{Al}_{0.5}\text{O}_{2-n}$

Таблица 3 - Состав (ат.%), состаренного образца $\text{Ce}_{0.4}\text{Zr}_{0.1}\text{Al}_{0.5}\text{O}_{2-n}$ (EDX)

Состав образца	Al	Zr	Ce
Интегральный	34.39	10.73	54.88
Область 1	6.69	32.17	61.14

На снимке состаренного образца, также видны агрегаты из смеси наноразмерных частиц оксидов алюминия Al_2O_3 и твердого раствора $\text{Ce}_{0.8}\text{Zr}_{0.2}\text{O}_x$, при этом граница раздела фаз выглядит менее четкой, по сравнению со свежеприготовленным образцом. Данные EDX-анализа указывают на то, что под воздействием повышенных температур происходит более полное формирование решетки Al_2O_3 , однако часть Al_2O_3 , порядка 15%, по-прежнему остаётся в аморфном состоянии. Важно, что после термического старения, сохраняются две, четко отделённые друг от друга, фазы: $\text{Ce}_{0.8}\text{Zr}_{0.2}\text{O}_x$ и Al_2O_3 .

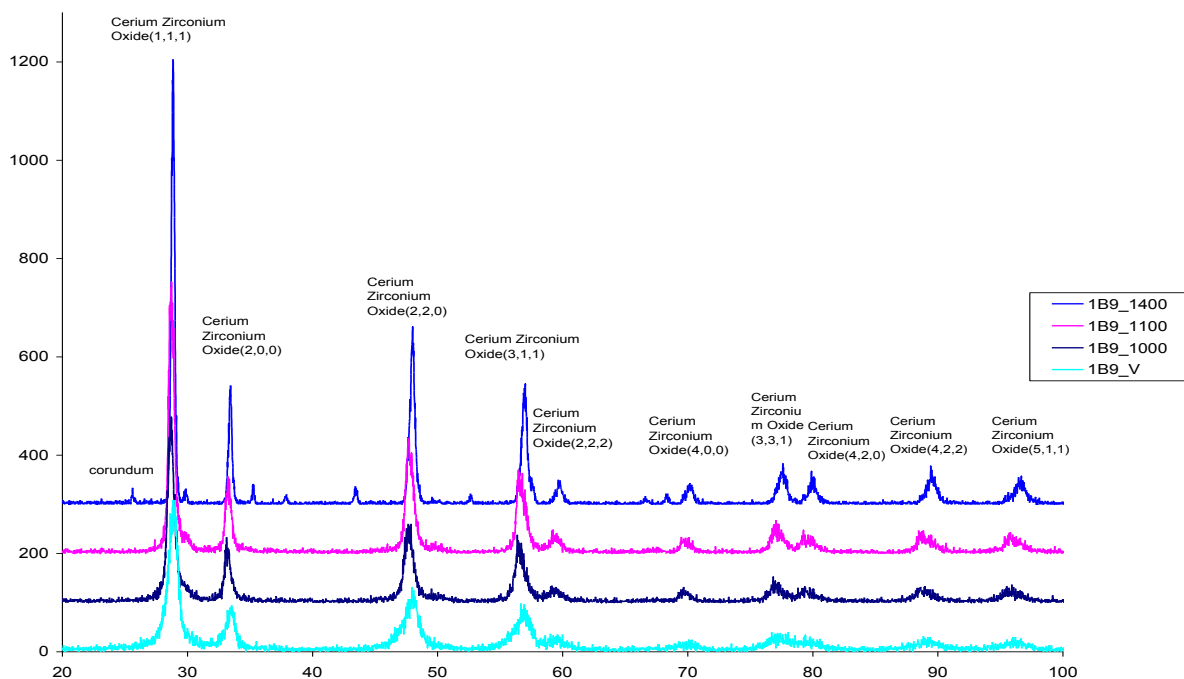


Рис. 3- Рентгенофазовый анализ материала $\text{Ce}_{0.4}\text{Zr}_{0.1}\text{Al}_{0.5}\text{O}_3$

Рентгенограмма оксидной композиции $\text{Ce}_{0.4}\text{Zr}_{0.1}\text{Al}_{0.5}\text{O}_x$ (Рисунок 3) показывает, что исходная свежеприготовленная композиция $\text{Ce}_{0.4}\text{Zr}_{0.1}\text{Al}_{0.5}\text{O}_x$ не обладает единой сформированной кристаллической решёткой. Важно, что на рентгенограмме свежеприготовленной композиции $\text{Ce}_{0.4}\text{Zr}_{0.1}\text{Al}_{0.5}\text{O}_x$ линии фазы Al_2O_3 не отображены (рентгеноаморфное состояние).

Выводы. Таким образом, можно утверждать, что при термическом старении на воздухе при 1000 °С происходит несколько процессов:

1. Снижение удельной поверхности образцов, при этом введение Al_2O_3 и создание оксидной системы $\text{Ce}_{0.4}\text{Zr}_{0.1}\text{Al}_{0.5}\text{O}_x$ снижает относительное уменьшение удельной поверхности.;

2. В составе оксидной системы фаза Al_2O_3 , находясь в аморфном состоянии, очевидно, играет роль диффузного барьера, и препятствует спеканию кристаллитов фазы $\text{Ce}_{0.8}\text{Zr}_{0.2}\text{O}_x$, при этом данная функция фазы Al_2O_3 сохраняется и после термического старения при 1000 С 2 часа;

3. Под воздействием высоких температур фазы Al_2O_3 и $\text{Ce}_{0.8}\text{Zr}_{0.2}\text{O}_x$ не образуют новых двух-, трёх- или четырёх компонентных твёрдых растворов.

4. Создание нанокomпозиции $\text{Ce}_{0.4}\text{Zr}_{0.1}\text{Al}_{0.5}\text{O}_x$ является эффективным способом повышения удельной поверхности каталитически твёрдого раствора $\text{Ce}_{0.8}\text{Zr}_{0.2}\text{O}_x$.

Список литературы:

1. A. Morikawa, T. Suzuki, T. Kanazawa, K. Kikuta, A. Suda, H. Shinjo, A new concept in high performance ceria–zirconia oxygen storage capacity material with Al_2O_3 as a diffusion barrier // *Applied Catal.* 78 (2008) 210-221.
2. Chia-Che Chuang, Hsing-I Hsiang, Jenn Shyong Hwang, Tai Shen Wang, Synthesis and characterization of $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Ce}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{O}_2$ powders prepared by chemical coprecipitation method// *Journal of Alloys and Compounds*, Volume 470, Issues 1-2, 20 February 2009, Pages 387-392
3. S. Matsumoto, *Toyota Tec. Rev.* 44 (1994) 10.
4. T. Kanazawa, J. Suzuki, T. Takada, T. Suzuki, A. Morikawa, A. Suda, H. Sobukawa and M. Sugiura. Development of three-way catalyst using composite alumina-ceria-zirconia// *Studies in Surface Science and Catalysis*, 145 (2003)

В.Ф. Бай, к.т.н., В.В. Воронцов, к.т.н., А.Н. Краев, к.т.н., А.В. Набоков, к.т.н.

Тюменский государственный архитектурно-строительный университет, Архитектурно-строительный факультет, кафедра строительных конструкций,

Россия, Тюмень

kraev_an@pochta.ru

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ПЕСЧАНОЙ АРМИРОВАННОЙ СВАИ В ВОДОНАСЫЩЕННОМ ГЛИНИСТОМ ГРУНТЕ

В статье приведены результаты экспериментальных исследований и численного моделирования напряженно-деформированного состояния песчаной армированной сваи, внедрённой в водонасыщенное глинистое основание. На основе лабораторных экспериментальных данных дана сравнительная оценка напряженно-деформированного состояния основания с использованием песчаной сваи и с использованием песчаной армированной сваи.

Ключевые слова: песчаная, свая, армированный, напряженно-деформированное, водонасыщенный, глинистый, основание, экспериментальные, грунт.

Неправильные решения, принятые при разработке проектов фундаментов промышленных и гражданских сооружений на водонасыщенных глинистых грунтах приводят к возникновению значительных осадок в процессе их эксплуатации. Использование таких грунтов в основании зданий и сооружений не рекомендуется, но в некоторых случаях возможно. Встречаются следующие распространенные решения поставленной проблемы: устройство фундамента на естественном основании с прорезкой толщи слабого грунта; устройство фундамента на песчаной (висячей или опертой) подушке; устройство свайного фундамента; армирование основания; устройство песчаных и грунтовых свай.

Экономический анализ оснований и фундаментов в сложных инженерно-геологических и инженерно-гидрологических условиях показывает, что наименьшую стоимость имеют сборные ленточные или монолитные столбчатые фундаменты на песчаных подушках толщиной до 3 м. При мощности слабого грунта 4 м и более целесообразны свайные фундаменты.

Фундаменты, устраиваемые на естественном основании, ниже толщи слабых грунтов обладают большей трудоёмкостью и ограничены глубиной распространения слабых грунтов (до 3 м) [2].

Предлагается рассмотреть следующий новый способ повышения несущей способности слабого основания: до начала возведения фундамента в основании сооружения, представленном слабым водонасыщенным грунтом, устраивается замкнутый по наружному периметру геосинтетическим водопроницаемым материалом (геосеткой) цилиндрический песчаный массив – песчаная армированная свая.

Технические характеристики геосинтетического материала, представлены в табл. 1

Таблица 1 - Технические характеристики геосинтетического материала

Марка геосетки	Прочность на разрыв, кН/м		Размер ячейки, мм	Ширина рулона, см	Длина рулона, м
	Вдоль (основа)	Поперек (уток)			
ССП 30/30- 2,5(150)	30	30	2,5	300	100

Для оценки напряженно-деформированного состояния водонасыщенного глинистого основания с учетом внедрения песчаной сваи и песчаной армированной сваи в межкафедральной научной и экспериментальной лаборатории Тюменского государственного архитектурно-строительного университета проведены лабораторные эксперименты. Серии экспериментов проводились в лотках со следующими грунтовыми условиями:

- массив грунта в первом лотке представлен водонасыщенным суглинком мягкопластичной консистенции с внедрённой песчаной свайей под штампом;

- массив грунта во втором лотке представлен идентичным грунтом с внедрённой песчаной свайей, вертикально армированной по контуру геосинтетическим водопроницаемым элементом.

Экспериментальная установка представляла собой лоток с размерами в плане $1250 \times 1250 \text{ мм}$ и высотой 1250 мм (рис.1), с жесткими стенками и дном.

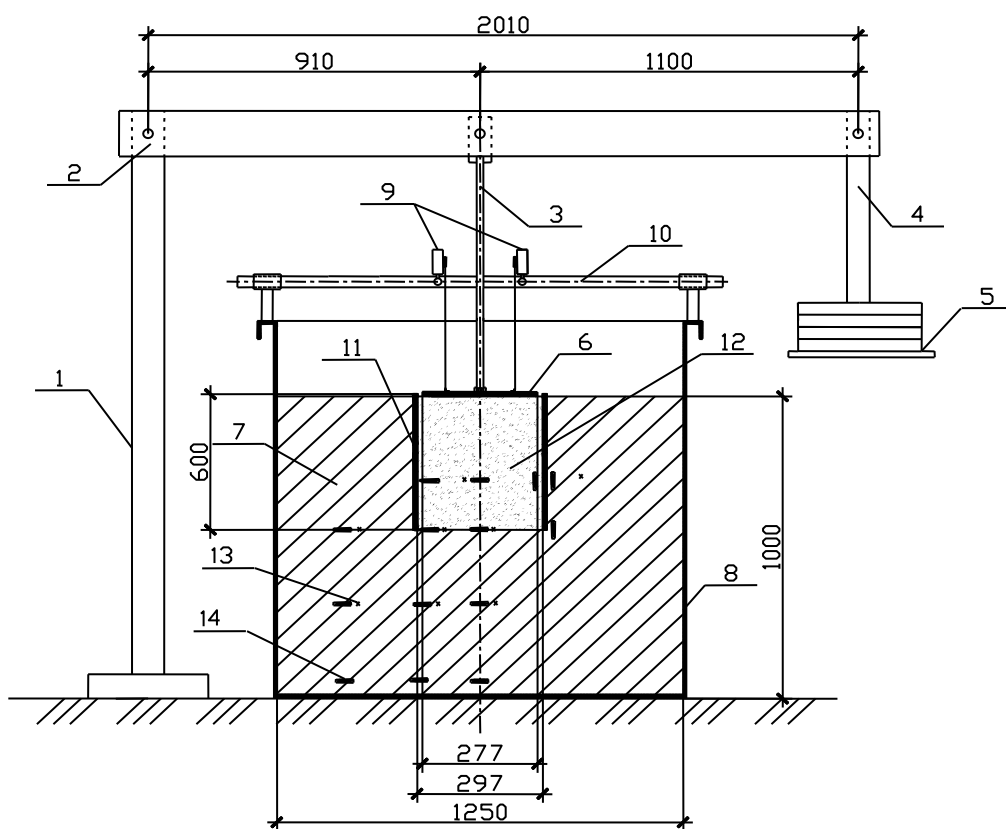


Рис. 1 - Схема экспериментальной установки:

- 1 – стойка; 2 – рычаг; 3 – загрузающий шток; 4 – загрузающая площадка; 5 – разновес;
 6 – штамп; 7 – водонасыщенный суглинок;
 8 – лоток; 9 – прогибомер; 10 – неподвижный штатив; 11 – армирующий элемент (геосетка); 12 – уплотненный песок;
 13 – грунтовые марки; 14 – мессдозы.

При планировании экспериментов придерживались методики моделирования, изложенной в трудах Кузнецова Г.Н. [1], используя метод расширенного подобия. В экспериментах выдерживалось геометрическое, механическое и силовое подобие.

Высота основания была принята $H = 1000 \text{ мм}$. Физико-механические характеристики грунта приведены в табл.2.

Таблица 2 - Физико-механические характеристики грунта

Удельный вес грунта, кН/м ³	Естественная влажность, %	Пластичность			Показатель текучести	Плотность сухого грунта, кН/м ³	Плотность частиц грунта, кН/м ³	Пористость	Коэффициент пористости, д.ед.	Коэффициент водонасыщения, д.ед.	Угол внутреннего трения, град.	Удельное сцепление, МПа	Модуль деформации, МПа
		Предел текучести	Предел раскатывания	Число пластичности									
18,5	28,4	30,2	17,3	13,0	0,9	15,1	26,8	46,2	0,78	0,94	17	0,018	2,4

Нагрузка на песчаную и песчаную армированную сваю передавалась при помощи консольно-рычажной системы через металлический штамп, толщиной 10мм, диаметром $d = 277\text{мм}$, равным диаметру песчаной сваи. Общий вид экспериментальной установки представлен на рис.2.

Для определения размера деформируемых зон и характера деформации основания в массиве грунта устанавливались глубинные марки. Для измерения осадок штампа и перемещений глубинных марок использовались датчики измерения деформаций (прогибомеры) с точностью 0,01мм. Напряженное состояние грунта оценивалось по результатам измерений, выполненных с помощью датчиков для измерения избыточного порового и общего давления в грунте (мессдозы). В качестве регистрирующей аппаратуры для измерения давления применялись приборы АИД-4, ИГЦ-01.

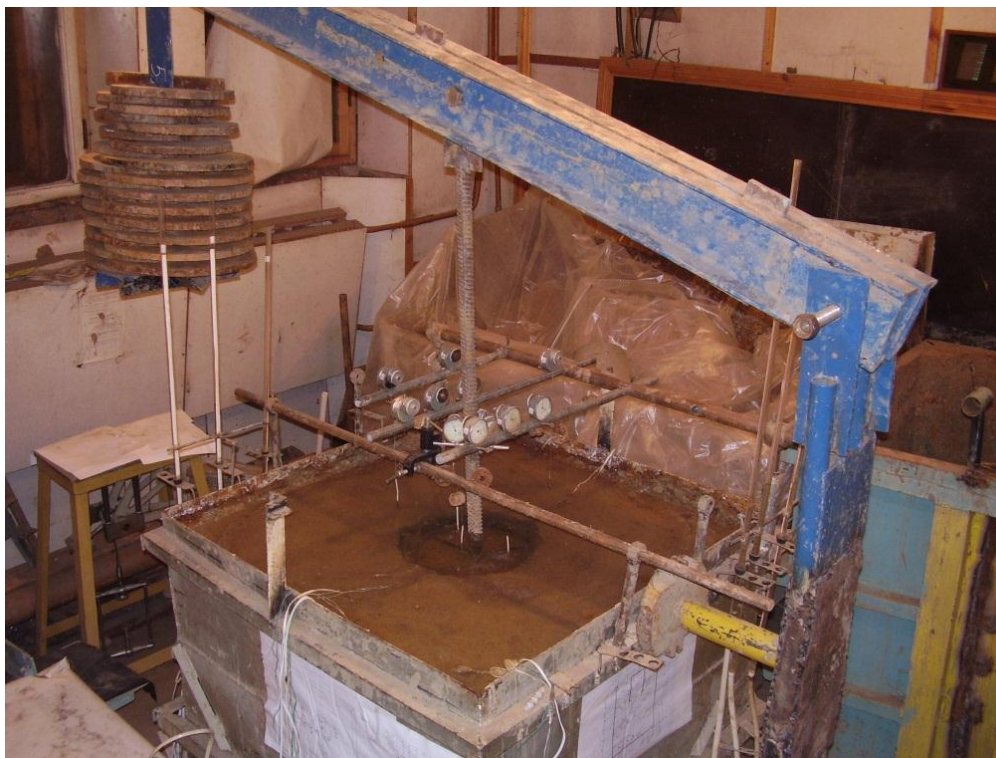


Рис. 2 - Общий вид экспериментальной установки.

В опытах на массиве грунта с внедрённой песчаной сваей без армирования наблюдалось возникновение поверхностей скольжения, с образованием в теле сваи клиньев, смещавшихся вертикально (под штампом) и в стороны (по бокам). Область развития вертикальных деформаций в массиве грунта за пределами поверхности сваи достигала расстояние, не превышающее диаметра штампа. Наблюдался незначительный выпор при больших деформациях песчаной сваи. Анализ деформации основания показал, что осадка штампа происходила в основном за счёт отжатия песка в стороны и уплотнения водонасыщенного суглинка в основании песчаной сваи.

Деформации массива грунта с внедрённой песчаной сваей вертикально армированной по периметру геосинтетическим материалом отличались снижением поперечных деформаций по сравнению с песчаной сваей, уменьшением выпора и снижением осадки штампа.

На рис.3 приведены экспериментальные графики зависимости «осадка – давление».

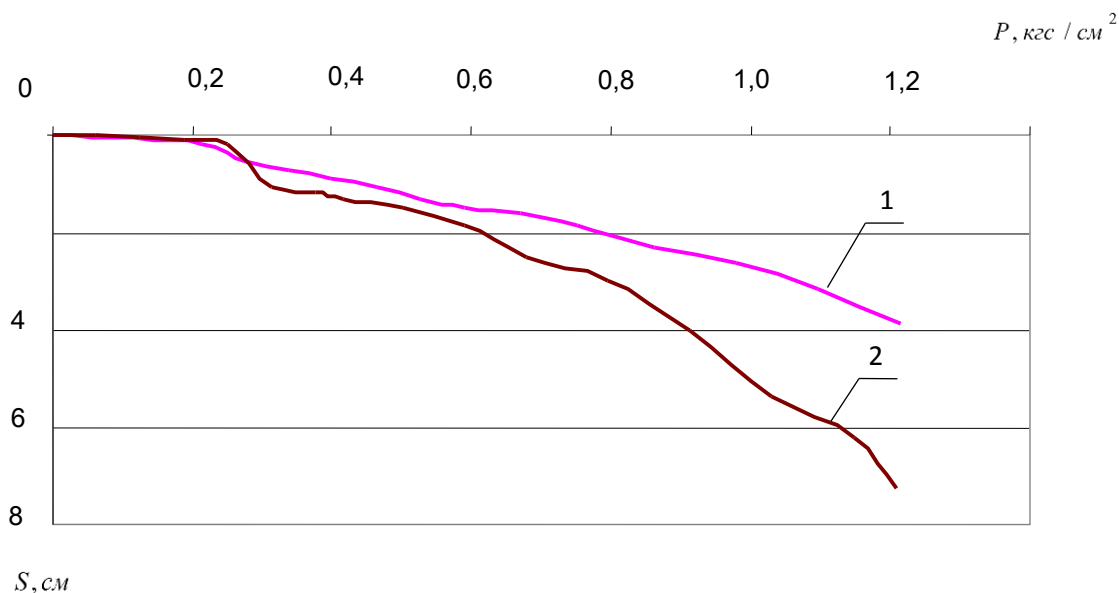


Рис. 3 - Экспериментальные графики «осадка-давление»:
1 - песчаная армированная свая; 2 - песчаная свая.

Из графиков видно, что кривая «осадка-давление» полученная при испытании песчаной неармированной сваи с первых ступеней нагружения имеет нелинейный характер, который свидетельствует о возникновении сдвигов в теле сваи за счет бокового сжатия суглинка. Деформации основания от первых ступеней нагрузки затухали довольно быстро, а от последних в течение длительного времени. Уменьшение осадки обусловлено работой оболочки песчаной армированной сваи, выполненной из геоткани, удерживающей песок от бокового расширения под действием вертикальной нагрузки, передаваемой штампом. Горизонтальные, кольцеобразные волокна геоткани работают при этом на растяжение.

Напряженно-деформированное состояние основания моделировалось в программном комплексе PLAXIS. При расчете использовалась модель Мора-Кулона. В качестве предельной нагрузки бралось экспериментальное значение на последней ступени нагружения $P_{np} = 1,4 \text{ кгс/см}^2$. На рис. 4 представлено сопоставление расчётного прогноза напряженно-деформируемого состояния массива грунта усиленного песчаной армированной сваи с экспериментальными данными.

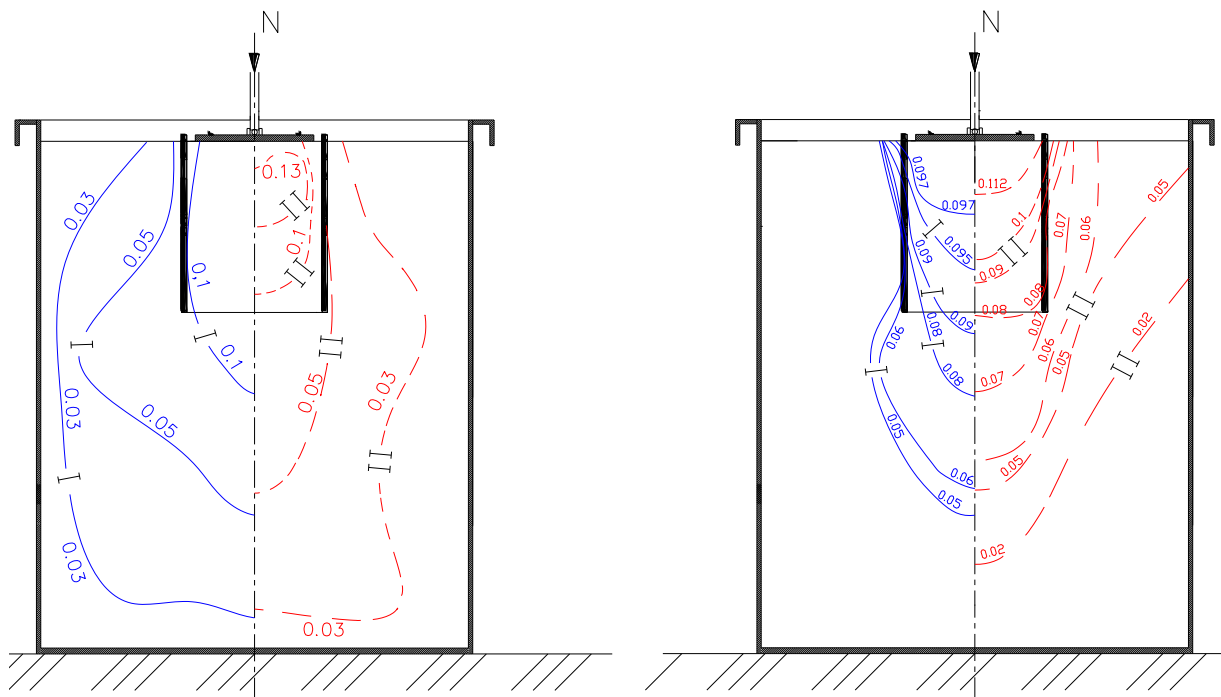


Рис. 4 - Сопоставление экспериментальных (I) и расчётных (II) значений напряжений и деформаций в массиве грунта усиленного песчаной армированной свайей:
а) общие давления в массиве грунта ($МПа$); б) перемещения массива грунта ($м$).

В результате сопоставления экспериментальных данных и результатов численного моделирования можно сделать следующие выводы:

- расхождение экспериментальных и расчётных значений напряжений и деформаций в массиве грунта с внедрённой песчаной армированной свайей составило 8–12% ;

- конечная осадка штампа в лотке с внедрённой песчаной свайей при нагрузке $P = 0,12 МПа$ составила $S = 7,78 см$, а с использованием песчаной армированной сваи - $S = 3,9 см$, что на 48% меньше осадки штампа в лотке со свайей без армирования;

- устройство песчаной армированной сваи в основании из водонасыщенного глинистого грунта приводит к снижению осадки сваи и увеличению предельной нагрузки на неё.

Список литературы:

1. Кузнецов, Г.Н. Моделирование проявлений горного давления. – Л.: Недра, 1968. – 276 с.
2. Морарескул, Н.Н. Основания и фундаменты в торфяных грунтах. – Л.: Стройиздат, 1979. – 80 с.

Тюменский государственный архитектурно-строительный университет, архитектурно-строительный факультет, кафедра строительных конструкций,
Россия, Тюмень
kraev-an@mail.ru

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ ПЛОЩАДНЫХ ФУНДАМЕНТОВ НА СЛАБОМ ГЛИНИСТОМ ОСНОВАНИИ, УСИЛЕННОМ ПЕСЧАНОЙ АРМИРОВАННОЙ ПОДУШКОЙ

В статье представлены результаты исследования работы площадных фундаментов, возводимых на слабых глинистых грунтах с усилением основания песчаной подушкой, армированной по контуру геосинтетическим материалом.

Ключевые слова: фундамент, слабый глинистый грунт, песчаная подушка армированная геосеткой.

При активном развитии малоэтажного строительства задача снижения себестоимости является актуальной. Строительство зданий и сооружений в Тюменской области затрудняется широким распространением слабых глинистых грунтов, в условиях которых возникает необходимость в разработке новых методов увеличения несущей способности грунтового основания. В частности предлагается устройство песчаной подушки с криволинейным очертанием подошвы, армированной по контуру геосинтетическим материалом (геосетка). Криволинейное очертание подошвы обеспечивает более равномерное распределение напряжений в основании, а армирующий элемент уменьшает поперечные деформации подушки основания.[1]

Для изучения характера деформирования основания и развития напряжений в грунтовом массиве были проведены экспериментальные исследования нескольких вариантов моделей фундаментов (рис. 1).

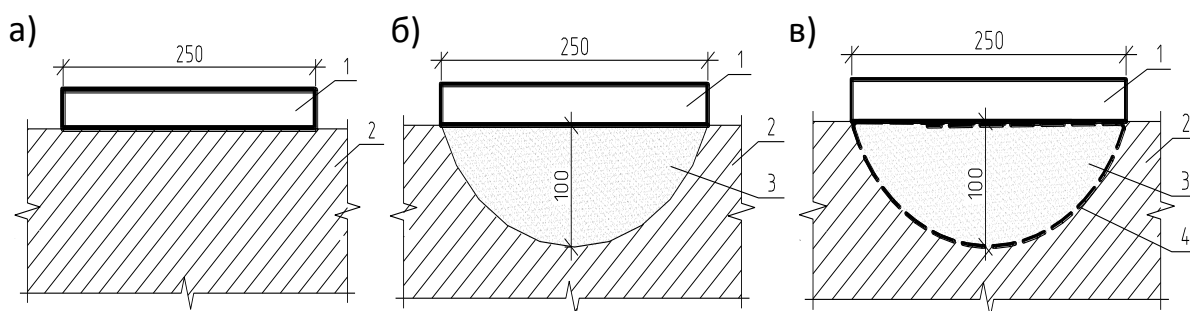


Рис. 1- Исследуемые модели

а – плоский жесткий штамп; б – штамп на песчаной подушке с криволинейной подошвой; г – штамп на песчаной армированной подушке с криволинейной подошвой; 1 – жесткий плоский штамп; 2 – слабое глинистое основание; 3 – песок средней крупности; 4 – геосетка.

Для проведения исследований была использована экспериментальная установка, представляющая собой грунтовый лоток с размерами 1500x2500x1200мм. (рис.2), с жесткими стенками и дном.

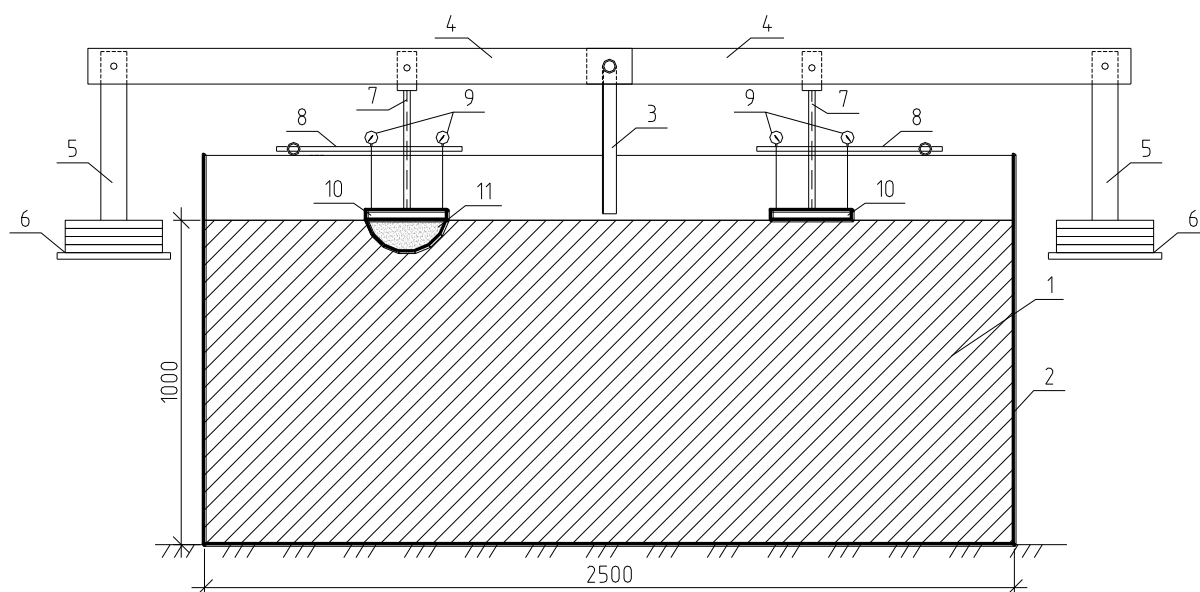


Рис. 2- Схема нагружения

- 1- водонасыщенный суглинок; 2- лоток; 3- стойка; 4- рычаг;
5- загрузающая площадка; 6- разновес; 7- загрузающий шток;
8- неподвижный штатив; 9- измеритель перемещений; 10- штамп;
11- песчаная армированная подушка с криволинейной подошвой.

Грунтовое основание в лотке устраивалось путем послойной ($h=200\text{мм.}$) укладки суглинка нарушенной структуры с затворением водой и консолидацией каждого слоя. Высота исследуемого основания была принята $H=1000\text{мм.}$ Физико-механические характеристики грунта приведены в табл. 1.

Таблица 1- Физико-механические характеристики грунта

Удельный вес грунта, кН/м^3	Естественная влажность, %	Пластичность			Показатель текучести	Плотность сухого грунта, кН/м^3	Плотность частиц грунта, кН/м^3	Пористость	Коэффициент пористости, д.ед.	Коэффициент водонасыщения, д.ед.	Угол внутреннего трения, град.	Удельное сцепление, МПа	Модуль деформации, МПа
		Предел текучести, %	Предел раскатывания, %	Число пластичности									
18,4	28,1	30,1	17,2	13,0	0,9	15,0	26,7	45,2	0,78	0,96	16	0,017	2,5

В качестве армирующего элемента использовался геосинтетический материал (геосетка), изготавливаемый из стекловолокна, пропитанного полимерным составом. Технические характеристики геосетки приведены в табл. 2.

Таблица 2- Технические характеристики геосетки

Марка геосетки	Прочность на разрыв, кН/м		Размер ячейки, мм	Ширина рулона, см	Длина рулона, м
	Вдоль (основа)	Поперек (уток)			
ССП 30/30-2,5(150)	30	30	2,5	150	100

Нагрузка на глинистое основание передавалась ступенями при помощи консольно-рычажной системы. Каждую ступень выдерживали до условной стабилизации деформаций грунта. В эксперименте одновременно проводилось загрузке двух моделей фундаментов. Размеры штампа в плане составляли 250х500мм. В первой серии экспериментов использовался плоский жесткий штамп и штамп на песчаной подушке с криволинейной подошвой, во второй – плоский жесткий штамп и штамп на песчаной армированной подушке с криволинейной подошвой.

Во время экспериментов измерялись напряжения в грунтовом массиве и перемещения штампа. Для определения величины напряжений в грунте использовались тензорезисторные мессдозы, расположенные по глубине в 2 ряда от подошвы фундамента. В качестве регистрирующей аппаратуры – измеритель деформаций ИТЦ-01. Величина осадки штампов определялась измерителями перемещений индикаторного типа с точностью 0,01мм. Схема расположения датчиков (мессдоз) и эпюры напряжений показаны на рис. 3.

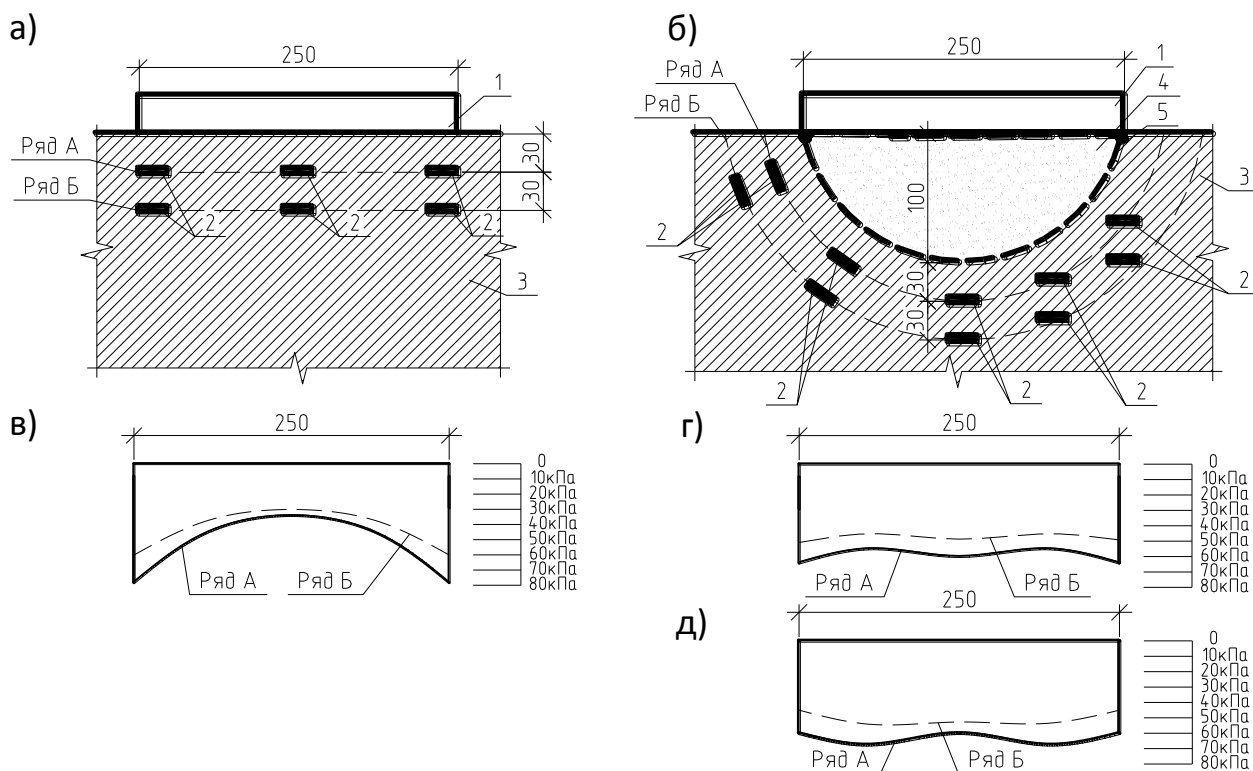


Рис. 3- Схема расположения датчиков (мессдоз) с эпюрами нормальных напряжений
 а- штамп на глинистом основании; б- штамп на песчаной армированной подушке с криволинейной подошвой; в- вертикальные нормальные напряжения под жестким штампом; г- вертикальные нормальные напряжения под штампом на песчаной армированной подушке с криволинейной подошвой; д- радиальные нормальные напряжения под штампом на песчаной армированной подушке с криволинейной подошвой; 1- штамп; 2- мессдозы; 3- слабое глинистое основание; 4- песок средней крупности; 5- геосетка.

На рис. 4 приведены графики "осадка-нагрузка" для всех моделей фундаментов.

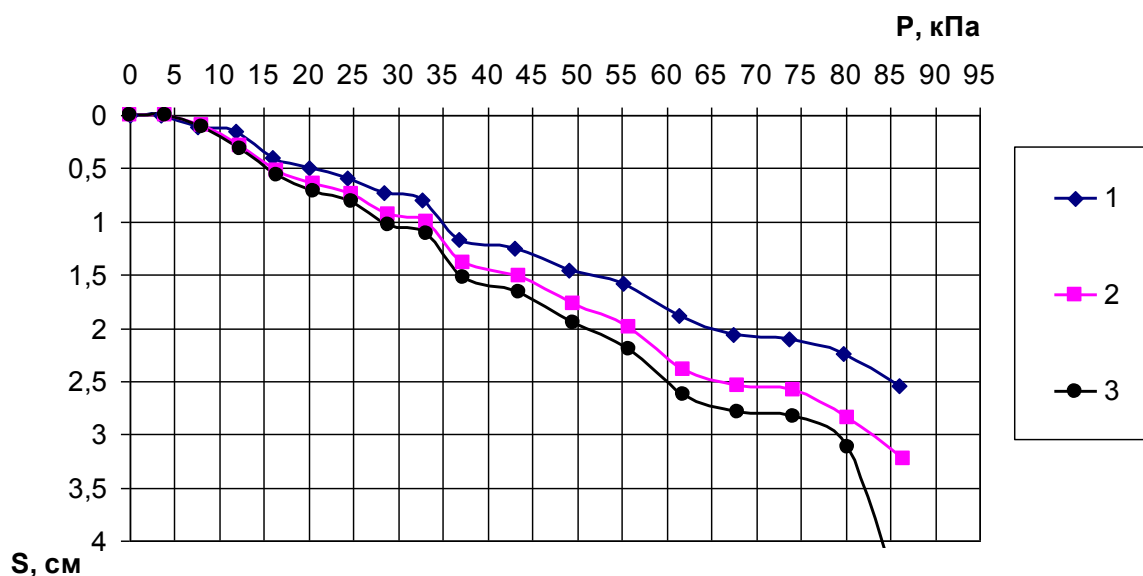


Рис. 4- Графики осадка-нагрузка

1- штамп на глинистом основании, усиленном песчаной армированной подушкой с криволинейной подошвой; 2- штамп на глинистом основании, усиленном песчаной подушкой с криволинейной подошвой; 3- штамп на глинистом основании.

На основании полученных экспериментальных результатов можно сделать следующий вывод:

- криволинейное очертание подошвы фундамента обеспечивает более равномерное распределение напряжений в основании по сравнению с плоским фундаментом, что приводит к уменьшению осадки и соответственно увеличению несущей способности;
- армирование песчаной подушки по контуру снижает поперечные деформации, что приводит к уменьшению осадки штампа;
- разность осадок штампа на песчаной подушке без армирования и с армированием составляет 19-20%;
- разность осадок жесткого штампа на глинистом основании и штампа на основании усиленном песчаной армированной подушкой с криволинейной подошвой составляет 29%.

Список литературы:

1. Тетиор, А.Н., Прогрессивные конструкции фундаментов для условий Урала и Тюменской области. – Свердловск: Средне-Уральское книжное издательство, 1971. – 176 с.

05.17.08.

В.Ф. Беккер к.т.н., И.Ф. Киссельман

Пермский государственный технический университет,
Березниковский филиал, кафедра автоматизации технологических процессов,
кафедра технологии и механизации производства
Россия, Березники
bekker@bf.pstu.ac.ru

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АБСОРБЦИИ АММИАКА В КОЛОННЕ С ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ПОДВИЖНОЙ НАСАДКОЙ

На базе математически выраженных закономерностей, описывающих физико-химических процессы, сопровождающие абсорбцию аммиака водой в трехфазной гидродинамической структуре потоков, возникающей при работе абсорбера с вращающейся псевдоожиженной насадкой, выполнена постановка и решение задачи компьютерного моделирования. Приведено в виде информационной матрицы описание последовательного алгоритма решения модели и способ его компьютерной реализации. Получены оценки параметрической чувствительности модели процесса.

Ключевые слова: абсорбция, подвижная насадка, аммиак, моделирование, чувствительность параметров.

Абсорбция аммиака протекает в трехфазном псевдоожиженном слое, инициируемом подвижной насадкой в объеме отдельной секции колонны. Как и в большинстве процессов химической технологии, для процесса абсорбции характерно взаимодействие веществ в потоках газа и жидкости, на поверхности раздела которых происходит химическое превращение. В основу математического описания положены уравнения баланса масс и энергии в этих взаимодействующих потоках. Вид уравнений этих балансов задает гидродинамическая структура потоков.

Решение задачи такого математического описания позволяет однозначно находить значения переменных, характеризующих состояние технологического аппарата для любой совокупности входных переменных и конструктивных параметров из области их допустимых значений. Следовательно, имеется возможность сначала получить ряд возможных аппаратных реализаций, а затем выбирать из этого ряда наилучшие варианты конструктивного оформления. После этого для найденной конструкции аппарата можно выбирать наиболее выгодные технологические режимы. Модель также может рассматриваться как основа для решения задач масштабного перехода.

Объект исследования – промышленная двухсекционная колонна с вращающейся подвижной насадкой, которая обеспечивает очистку до санитарной нормы $V = 40000 \text{ м}^3/\text{ч}$ газа с начальным содержанием аммиака $y_1 = 1,2 \text{ г/м}^3$. Принципиальная схема колонны приведена на рис. 1.

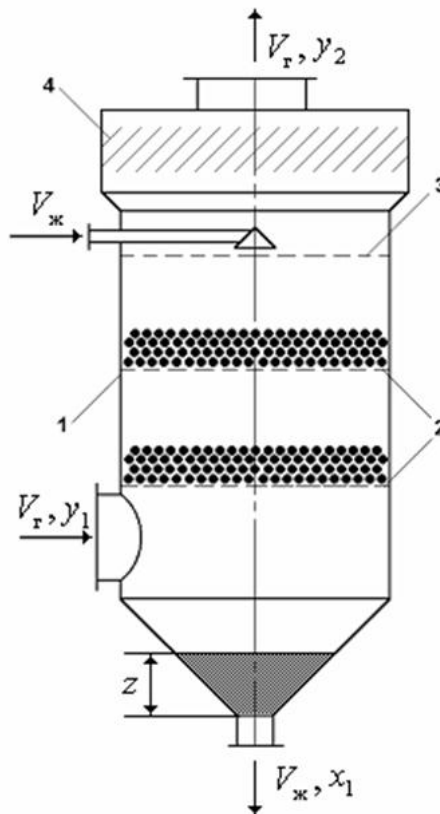


Рис. 1 – Двухсекционная колонна с подвижной насадкой

Корпус изготовлен в виде цилиндрической царги 1 диаметром $D_k = 1,8$ м, секционированной провальными решетками колосникового типа 2 с долей свободного сечения $f = 0,45$ и ограничительной решеткой 3. Подвижная насадка изготовлена из полиэтилена в виде полых шаров диаметром $d_{ш} = 0,035$ м, кажущейся плотностью $\rho_{ш} = 300$ кг/м³. Высота статического слоя насадки в каждой секции $H_{ст} = 0,5$ м. Газовая фаза, объёмный расход которой V_r , содержащая y_1 поглощаемого компонента – аммиака, подаётся под распределительную решетку первой секции. Абсорбент, объёмный расход которого $V_ж$, подаётся на орошение насадки через специальное рассеивающее устройство в верхней части аппарата. Выходной переменной является концентрация аммиака в газе на выходе из абсорбера y_2 . Кроме того, в нижней части колонны для исключения проскока газа через слив поддерживается определенный уровень жидкости z .

Температура по всей высоте колонны принята равной температуре газа $t = t_r = 20^\circ\text{C}$. Это допущение обосновано низким содержанием аммиака в газе. Поглощение аммиака из газовой фазы происходит в результате абсорбции и химического взаимодействия его с жидкой фазой. Входным возмущением на процесс является изменение начальной концентрации аммиака в газовой фазе y_1 , которая в производственных условиях работы колонны может динамично изменяться. В качестве управляющего воздействия (также являющегося входной переменной процесса) рассматривается нагрузка абсорбера по абсорбенту $V_ж$.

В соответствии с рекомендациями, изложенными в [1], компьютерное моделирование процесса абсорбции аммиака водой в колонне с вращающейся подвижной насадкой включало выполнение следующих основных этапов:

- анализ и исследование процесса абсорбции: экспериментальное и теоретическое,

- построение математической модели (ММ),
- идентификация математического описания с использованием опытных данных, полученных на действующей опытной установке,
- проверку адекватности ММ,
- анализ параметрической чувствительности ММ,
- расчётные исследования (симуляция) процесса.

В основу математического описания процесса положены приведенные в [2] математические зависимости, описывающие структуру потоков в аппарате в виде ячеечной модели [3]. В зависимости от гидродинамического режима изменяется число n' ячеек идеального перемешивания в отдельной секции аппарата. При этом введением k_v – корректирующего коэффициента учитывается вращение элементов подвижной насадки [4]. Число единиц переноса N на одну секцию определено по величине объемного коэффициента K_{gv} массопередачи, отнесённого к газовой фазе. Число ячеек идеального перемешивания n' в одной секции определяется через критерий Пекле $Re_{ж,0}$ для неподвижной насадки. В свою очередь этот критерий – функция величины критерия подобия Рейнольдса $Re_{ж}$ для жидкости и Ga – производного критерия Галилея для элемента подвижной насадки [3].

Статика процесса описана зависимостью константы m_c равновесия растворения аммиака в воде от абсолютной температуры T . При этом введением константы m_{pc} учитывается парциальное давление аммиака в газовой фазе, которая находится в равновесии с раствором аммиака определенной концентрации [2].

Для описания процесса массопередачи использована зависимость объемного коэффициента β_{gv} массопередачи, отнесённого к газовой фазе от объемного коэффициента массопередачи в газовой фазе и объемного коэффициента $\beta_{жv}$ массопередачи в жидкой фазе. Эти коэффициенты в свою очередь рассчитываются через скорость w газа и плотность орошения U для данных конструктивных параметров секции и элемента подвижной насадки. Высота псевдоожиженного слоя $H_{ст}$ определяется по степени k его расширения, зависящей от величины скорости w газа с учетом скорости $w_{0,кр}$ начала псевдоожижения.

Таблица 1

Параметры модели и вводимые константы

Режимно-технологические параметры:	
1.	Объемный расход газа V_g , м ³ /ч
2.	Объемный расход жидкости $V_{ж}$, м ³ /ч
3.	Температура в абсорбере t , °С
4.	Начальная концентрация аммиака в газе y_1 , г/м ³
5.	Плотность газа ρ_g , кг/м ³
6.	Плотность жидкости $\rho_{ж}$, кг/м ³
7.	Кинематическая вязкость жидкости $\nu_{ж}$, м ² /с.
Конструктивные параметры:	
8.	Диаметр абсорбера D_k , м
9.	Диаметр насадочного тела $d_{ш}$, м

10.	Число секций абсорбера, i
11.	Доля свободного сечения решетки, доли ед.
12.	Высота статического слоя насадки $H_{ст}$, м
13.	Плотность материала насадки $\rho_{ш}$, кг/м ³
14.	Порозность неподвижного слоя сухой насадки ε_0
15.	Коэффициент гидравлического сопротивления опорно-распределительной решетки колосникового типа с щелевидными отверстиями ζ
16.	Коэффициент, учитывающий вращение элементов подвижной насадки k_b
Вводимые константы:	
17.	Ускорение свободного падения $g = 9,81 \text{ м/с}^2$
18.	Универсальная газовая постоянная $R = 0,0831 \text{ м}^3 \text{ бар}/(\text{кмоль } ^\circ\text{C})$

Таблица 2

Информационная матрица, свернутая в таблицу

№ формулы	Наименование и обозначение переменной	Исходные данные (номер строки табл. 1)	Используемая формула (номер строки настоящей таблицы)
1	2	3	4
1.	Абсолютная температура, $T = t + 273.16$	[3]	–
2.	Константа равновесия $m_{pc} = 10^{4.705 - \frac{1922}{T}}$, м ³ ·бар/моль	–	[1]
3.	Константа равновесия $m_c = \frac{m_{pc}}{R \cdot T}$	[2]	[1], [18]
4.	Удельный расход поглотителя $l = \frac{V_{ж}}{V_r}$, м ³ /м ³	[1], [2]	–
5.	Площадь сечения абсорбера $S = \frac{\pi \cdot D_k^2}{4}$, м ²	[8]	–
6.	Скорость газа $w = \frac{V_r}{3600 \cdot S}$, м/с	[1]	[5]

7.	Плотность орошения $U = \frac{V_{\text{ж}}}{S}$, м/ч	[2]	[5]
8.	Коэффициент массоотдачи для газа, $\beta_{\text{гв}} = 223 \cdot w^{1,61} \cdot U^{0,24} \cdot H_{\text{ст}}^{-0,39} \cdot f^{-0,55} \cdot d_{\text{ш}}^{-0,29} \cdot \rho_{\text{ш}}^{0,27}$, ч ⁻¹	[9], [11], [12], [13]	[6], [7]
9.	Коэффициент массоотдачи для жидкости, $\beta_{\text{жв}} = 2,52 \cdot w^{1,36} \cdot U^{0,59} \cdot H_{\text{ст}}^{-0,4} \cdot f^{-1,3}$, ч ⁻¹	[11], [12]	[6], [7]
10.	Коэффициент массопередачи, $K_{\text{гв}} = \frac{1}{\frac{1}{\beta_{\text{гв}}} + \frac{m_{\text{с}}}{\beta_{\text{жв}}}}$, ч ⁻¹	–	[3], [8], [9]
11.	Количество удерживаемой жидкости в долях от слоя насадки $\delta = 0,0011 \cdot U^{0,6} \cdot d_{\text{ш}}^{-0,5} + 0,02$	[9]	[7]
12.	Средняя скорость жидкости в $\bar{u} = \frac{U}{3600 \cdot \delta}$, м/с	–	[7], [11]
13.	Скорость начала псевдооживления сухой насадки $w_{0, \text{кр}} = 0,606 \sqrt{\frac{d_{\text{ш}} \rho_{\text{ш}}}{\rho_{\text{г}}}}$, м/с	[5], [9], [13]	–
14.	Скорость начала псевдооживления орошаемой насадки $w_{\text{кр}} = \frac{20,5 \cdot w_{0, \text{кр}}}{20,5 + U^{0,9}}$, м/с	–	[7], [13]
15.	Степень расширения псевдооживленного слоя $k = 1 + 0,18 \cdot (w - w_{\text{кр}}) \cdot U^{0,35}$	–	[6], [7], [14]
16.	Число единиц переноса на одну секцию $N = \frac{K_{\text{гв}} H_{\text{ст}}}{3600 \cdot w}$	[12]	[6], [10]
17.	Критерий Рейнольдса жидкости $\text{Re}_{\text{ж}} = \frac{\bar{u} \cdot d_{\text{ш}}}{\nu_{\text{ж}}}$	[7], [9]	[12]
18.	Критерий Галилея $\text{Ga} = \frac{g \cdot d_{\text{ш}}^3}{\nu_{\text{ж}}^2}$	[7], [9], [17]	–

19.	Критерий Пекле для неподвижной насадки $Pe_{ж,0} = 1,425 \cdot Pe_{ж}^{0,78} \cdot Ga^{\frac{1}{3}} \cdot \frac{H_{ст}}{d_{ш}}$	[9], [12]	[17], [18]
20.	Степень псевдоожижения $\Delta = \frac{w - w_{кр}}{w_{кр}}$	–	[6], [14]
21.	Продольное перемешивание при $\Delta < 1,2$ $\ln F(\Delta) = -1,801729 + 0,110745 \cdot \Delta - 1,501386 \cdot \ln \Delta$ при $\Delta \geq 1,2$ $F(\Delta) = 0,529494 - 0,138216 \cdot \Delta^2 - 0,464515 \cdot \Delta^3$ при $\Delta < 1,2$	–	[20]
22.	Критерий Пекле для псевдоожиженной насадки $Pe_{ж} = Pe_{ж,0} \cdot k \cdot F(\Delta) \cdot \left(\frac{D_{\kappa}}{d_{ш}} \right)^{0,304}$	[8], [9]	[15], [19], [21]
23.	Число ячеек идеального перемешивания в одной секции $n' = k_{\text{в}} \cdot \frac{Pe_{ж}^2}{2 \cdot (Pe_{ж} - 1 + e^{-Pe_{ж}})}$	[16]	[22]
24.	Число ячеек идеального перемешивания для всего абсорбера $n = n' \cdot i$	[10]	[23]
25.	Число единиц переноса на одну ячейку полного перемешивания $N' = \frac{N}{n'}$	–	[16], [23]
26.	Абсорбционный фактор $A = \frac{l}{m_c}$	–	[3], [4]
27.	Вспомогательная величина $q = \frac{1}{A} + \left(1 - \frac{1}{A} \right) \cdot e^{-N'}$	–	[25], [26]
28.	Степень извлечения для абсорбера $\varphi = \frac{(1 - q^n) \cdot A}{A - q^n}$	–	[24], [26], [27]

29.	Содержание аммиака в газовом потоке на выходе из абсорбера $y_2 = y_1 \cdot (1 - \varphi)$, г/м ³	[4]	[28]
30.	Содержание аммиака в жидкости на выходе $x_1 = \frac{y_2 - y_1}{l}$, г/л	[4]	[4], [29]
31.	Объем псевдоожиженного слоя $V_{\text{по}} = S \cdot H_{\text{ст}} \cdot k$, м ³	[12]	[5], [15]
32.	Интенсивность абсорбции $a = \frac{V_z \cdot (y_1 - y_2)}{V_{\text{по}} \cdot 3600}$, г·м ⁻³ ·с ⁻¹	[1], [4]	[29], [31]
33.	Гидравлическое сопротивление секции, Па $\Delta P = 32,1 w^{0,82} U^{0,56} H_{\text{ст}}^{0,8} f^{-1,03} + \zeta \frac{\rho_{\text{г}}}{2} \left(\frac{w}{f} \right)^2 + g \rho_{\text{ш}} H_{\text{ст}} (1 - \varepsilon_0)$	[5],[11], [12],[13] , [14],[15] , [17]	[6], [7]
34.	Гидравлическое сопротивление абсорбера $\Delta P_{\text{общ.}} = \Delta P \cdot i$, Па	[10]	[33]

Гидравлическое сопротивление слоя ΔP – критериальная зависимость от скорости w газа и плотности U орошения для конкретных конструктивных параметров f , $H_{\text{ст}}$, $\rho_{\text{ш}}$, ε_0 .

Для оценки технологической эффективности процесса рассчитывается степень извлечения φ по числу единиц переноса N' на одну ячейку идеального перемешивания с коррекцией по величине абсорбционного фактора A , зависящего от константы равновесия m_c .

Сформулированная выше задача математического моделирования представлена в виде информационной матрицы, выбран метод решения модели и алгоритм его реализации программными средствами MathCAD (см. табл. 1 и 2). Выполнена проверка адекватности ММ сравнением с результатами эксперимента на опытной установке. Блок-схема алгоритма решения задачи показана на рис. 2. Нумерация алгоритмических блоков соответствует номеру строки в табл. 2.

Проведен анализ параметрической чувствительности основных показателей энергетических затрат – гидравлического сопротивления псевдоожиженного слоя и полноты абсорбции – конечной концентрации аммиака в газовой фазе проведен по основным конструктивным параметрам:

- диаметру колонны,
- высоте статического слоя насадки,
- доле свободного сечения распределительной решетки
- плотности материала насадки.

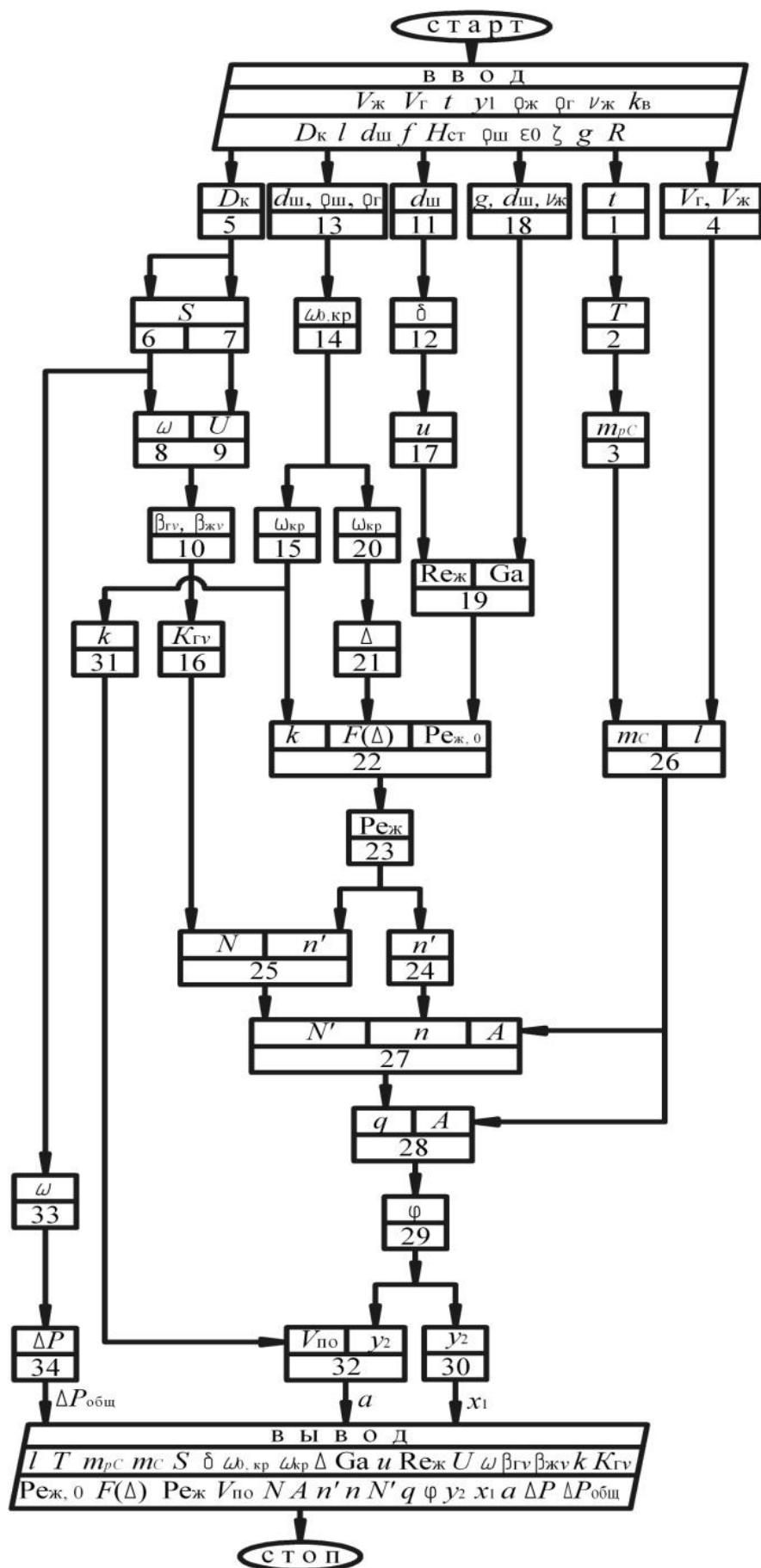


Рис. 2 – Блок-схема алгоритма решения ММ

Полученные оценки чувствительности ММ приведены в табл. 3.

Таблица 3

Абсолютная чувствительность параметров математической модели

Параметр конструкции	Диапазон изменения	Перепад давления, кПа	Оценка чувствительности,	Конечная концентрация, г/м ³	Оценка чувствительности
Доля свободного сечения	0,70...0,25	1,58...3,22	9,40...1,20 кПа	0,254...0,147	0,22...0,28 г·м ⁻³
Высота статического слоя, м	0,45...0,10	3,17...1,10	5,60...6,20 кПа·м ⁻¹	0,117...0,337	0,30...1,28 г/м ⁴
Диаметр колонны, м	2,40...1,20	1,38...4,74	7,14...0,75 кПа·м ⁻¹	0,270...0,083	1,20...0,30 г/м ⁴
Плотность насадки, кг/м ³	800...250	3,51...1,89	2,80...3,00 кПа м ³ ·кг ⁻¹	0,122...0,206	0,12...0,18 г/кг

Для оценки и сравнения влияния высоты статического слоя насадки; доли свободного сечения решетки и плотности материала насадки на выходные параметры: гидравлическое сопротивление секции и конечную концентрацию аммиака в газовой фазе определены относительные безразмерные коэффициенты чувствительности. Результаты оценки относительной чувствительности показаны на рис. 3 и 4.

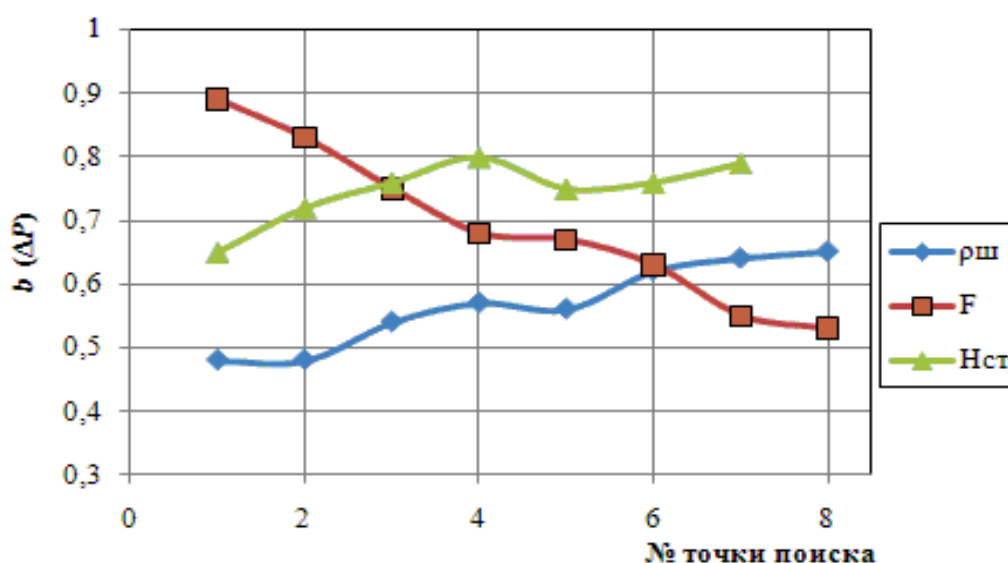


Рис. 3 – Относительная чувствительность гидравлического сопротивления ΔP к изменению плотности материала $\rho_{ш}$, высоты статического слоя насадки $H_{ст}$, и доли свободного сечения решетки f

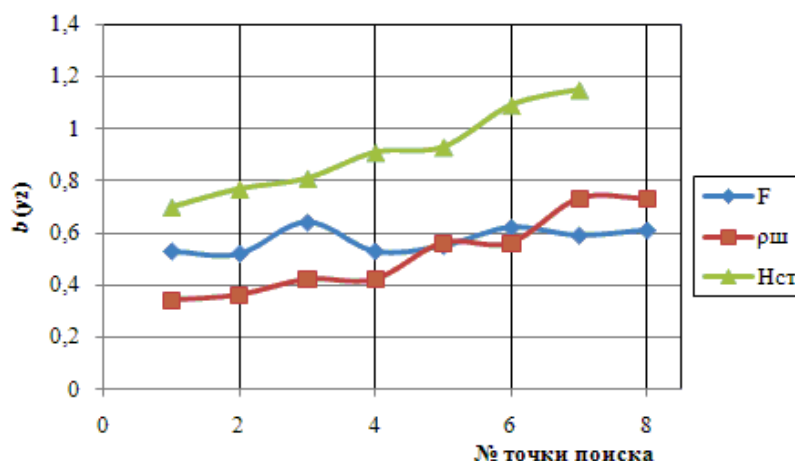


Рис.4 – Относительная чувствительность конечной концентрации аммиака в газовой фазе y_2 к изменению доли свободного сечения решетки f , плотности материала $\rho_{ш}$, высоты статического слоя насадки $H_{ст}$

Полученные результаты оценки относительной чувствительности позволяют сделать вывод о том, что гидравлическое сопротивление ΔP секции наиболее чувствительно к изменению доли свободного сечения f опорно-распределительной решетки, причем максимальная чувствительность соответствует наименьшим значениям доли свободного сечения. Конечная концентрация аммиака в газовой фазе наиболее чувствительна к изменению высоты статического слоя насадки, причем увеличение $H_{ст}$ повышает величину этой чувствительности.

Выполненные многократные расчёты различных состояний технологического процесса позволили оценить влияние параметров конструкции и режимных параметров на состояние процесса, и по значениям выходных переменных, охарактеризовать его эффективность. Для входных переменных и параметров процесса определены физически обоснованные интервалы изменения и шаг, с которым в заданном интервале они должны изменяться. Выявлены управляющие воздействия, обеспечивающие возможность последующего поиска эффективных режимов абсорбции, и наиболее сильно влияющие на целевые функции при решении задачи оптимизации.

Итак, полученные результаты показали работоспособность ММ и возможность на ее основе, варьируя исходные режимно-технологические и конструктивные параметры, получать объем данных, достаточный для оценки состояния процесса по значениям основных выходных параметров, определяющим эффективность процесса абсорбции. Возможно использование ее для оптимизации, как конструкции аппарата, так и технологического режима абсорбции аммиака в колонне с вращающейся подвижной насадкой.

Список литературы:

1. Гартман Т.Н., Клушин Д.В. Основы компьютерного моделирования химико-технологических процессов. М.: ИКЦ «Академкнига», 2006. – 416 с.
2. Заминян А.А., Рамм В.М. Абсорберы с псевдоожиженной насадкой. М.: Химия, 1980. – 184 с.
3. Беккер В.Ф. Управление структурой потоков в аппаратах химической технологии. Пермь: ПГТУ, – 2010. – 208 с.
4. Беккер В.Ф., Кафаров В.В., Шумихин А.Г., Черепанов А.И. Влияние распределения массы по объему насадочного тела на интенсивность гидродинамических процессов в трехфазном псевдоожиженном слое. ТОХТ Том XXII. 1988.– С.581–582.

Т.Г. Бунькова

Омский государственный университет путей сообщения,
механический факультет, кафедра технологии транспортного машиностроения и ремонта
подвижного состава,
Россия, Омск
mademuassel@mail.ru

ОБ ОПТИМАЛЬНОМ СООТНОШЕНИИ ТВЕРДОСТИ ЦЕЛЬНОКАТАНОГО КОЛЕСА ГРУЗОВОГО ВАГОНА И ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО РЕЛЬСА

В работе представлены результаты исследования износа цельнокатаного колеса повышенной твердости и железнодорожного рельса. Разработана модель трения пары колесо-рельс, учитывающая изменение твердости материала колеса в пределах, предусмотренных стандартом, а также нагрузки, действующие в процессе эксплуатации. Даны объяснения статистическим данным по эксплуатации цельнокатаных колес повышенной твердости и рекомендации по выбору оптимального соотношения твердости материала колеса и рельса.

Ключевые слова: колесо, рельс, соотношение твердости, износостойкость.

Продолжительность службы колес и рельсов в значительной степени обуславливается твердостью стали, используемой для их изготовления. Это подтверждается достаточно большим числом исследований, проведенных в нашей стране и за рубежом.

Многие работы по изучению зависимости износостойкости от твердости проводились только на образцах из колесной или рельсовой стали без должной оценки степени влияния прочности одного элемента на износостойкость другого в паре, моделирующей работу колеса и рельса.

На российских и зарубежных дорогах существует проблема повышенной интенсивности изнашивания колес и рельсов. Для повышения ресурса цельнокатаных колес грузовых вагонов и железнодорожных рельсов и снижения интенсивности их изнашивания необходимо выбрать рациональный интервал их твердости. На протяжении многих лет ученые пытаются разрешить эту проблему простым способом повышения поверхностной твердости колеса и рельса. Однако такой подход является спорным, и активное его обсуждение во всем мире не привело к единому мнению.

Результаты эксплуатации на сети железных дорог цельнокатаных колес повышенной твердости подтверждают ряд их преимуществ перед серийными колесами, которые заключаются в существенном снижении тонкого гребня, а также незначительного уменьшения остроконечного наката гребня, кольцевых выработок и прочих дефектов. Существуют и отрицательные проявления: увеличение количества ползунов и выщербин, то есть дефектов термомеханического происхождения (рис.1).

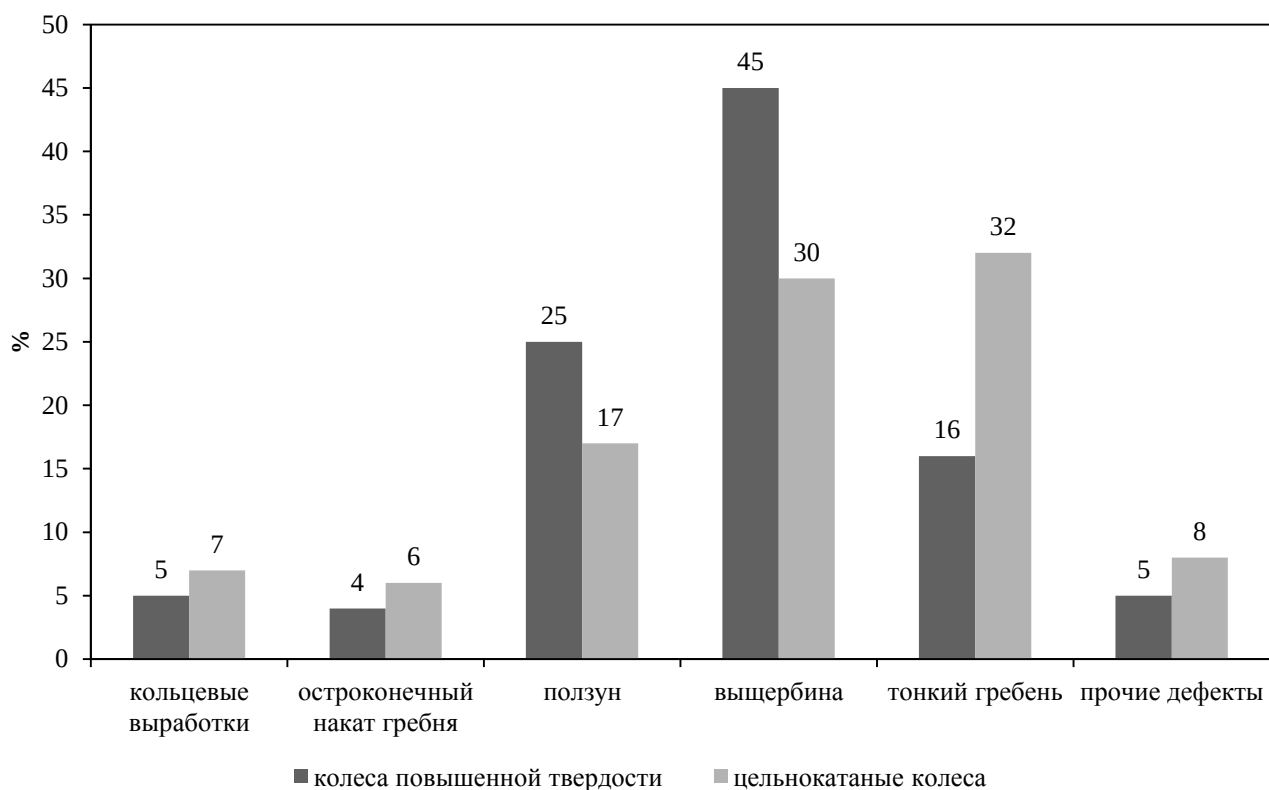


Рис. 1- Дефекты колес повышенной твердости и цельнокатаных колес по ВЧД ст. Омск-Московка за 2008 год

По выполненному анализу соотношения дефектов цельнокатаных колес и цельнокатаных колес повышенной твердости можно сделать вывод, что решение о повышении твердости цельнокатаного колеса, как пути уменьшения активного износа пары трения колесо-рельс, не является достаточно обоснованным.

В.А. Гапанович считает, что нельзя бесконечно стремиться к высокой технической достижимой поверхностной твердости рельсовой стали, это ведет к существенному ухудшению комплекса характеристик служебных свойств, в том числе и к ее охрупчиванию. Возникают и немалые технологические проблемы. Приходится предъявлять повышенные требования к качеству материала и точности формирования поверхности трения, чтобы по возможности предотвратить развитие ускоренного хрупкого разрушения – как поверхностного (износ), так и объемного (поперечные трещины).

В статье В. А. Гапановича выполнен анализ данных проекта стандарта ГОСТ Р51685 и результатов испытаний высокопрочной рельсовой стали можно сделать вывод о том, что повышение твердости (пределов прочности и текучести при растяжении) рельсовой стали не является обоснованным и тем более эффективным, если требуется увеличить сопротивление усталости и износостойкость рельсов [1].

В таблице представлен анализ твердости цельнокатаного колеса и железнодорожного рельса показал, что максимальная твердость колеса в таких странах как США, Бразилия, Канада (390 НВ), а рельса – в России (401 НВ).

Таблица - Анализ твердости цельнокатаного колеса и железнодорожного рельса

	HB _{к max}	HB _{р max}	HB _{к max} / HB _{р max}	HB _{к опт}	HB _{р опт}	HB _{к опт} / HB _р опт
Россия	363	401	0.91	310	361	0.86
Япония						0.90
США, Бразилия, Канада	390	390	1.00			1.00
Германия	310	375	0.83	310	290	1.10
Швеция		360				1.10
Европа						1.10
ЮАР		340				
Китай		390				

Оптимальное соотношение твердости колеса и рельса в России минимальное (0.86), в странах Европы – максимальное (1.1). Из триботехники известно, что лучшую износостойкость в трущейся паре проявляют металлы с примерно одинаковой твердостью. По мнению В. А. Гапановича и Л. А. Сосновского, твердость рельсов и колес не должна быть одинаковой — хотя бы потому, что эти элементы имеют существенно различное конструктивное исполнение и работают в существенно различающихся условиях. Для колеса характерно контактное нагружение, а для рельса — контактно-циклическое (объемное) [1].

В России на протяжении последних семидесяти лет это соотношение менялось следующим образом: 1935-1955 г.г. - HB_к/HB_р = 0.93; 1956-1980 г.г. - HB_к/HB_р = 1.01-1.05; 1981-2002 г.г. - HB_к/HB_р = 0.85; 2003-2010 г.г. - HB_к/HB_р = 0.86.

Если в 1956-1980 гг. соотношения твердости колеса и рельса составляло 1.03 (прочностные характеристики почти одинаковые), то уже с 2003-2010 гг. твердость колеса уменьшилась на 14% по отношению к твердости рельса.

Для определения оптимального соотношения твердости пары трения колесо/рельс были проведены экспериментальные исследования.

Установка была реализована на базе токарно-винторезного станка модели 1К62 (рис. 2).

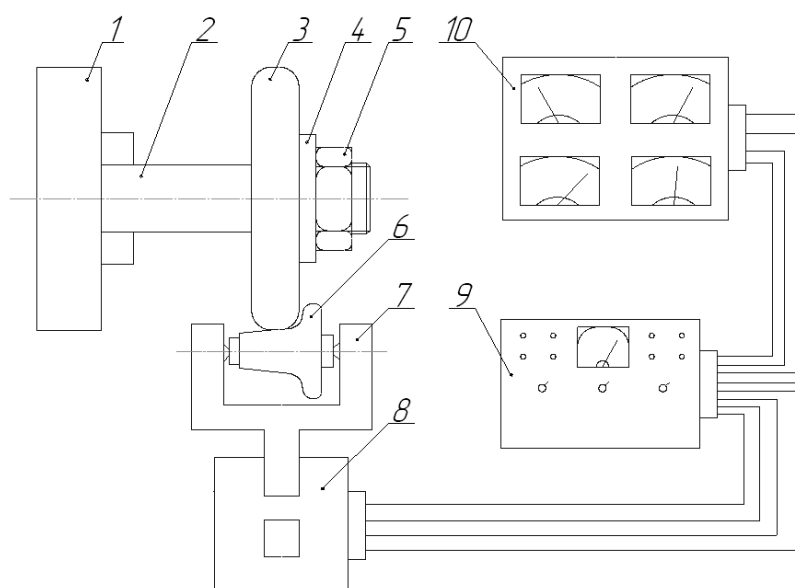


Рис. 2- Схема экспериментальной установки: 1 - шпиндель токарно-винторезного станка; 2 – оправка; 3 - модель рельса; 4 – планшайба; 5 – гайка; 6 - модель колеса; 7 – вилка; 8 – приспособление; 9 - электронный усилитель; 10 - измерительные приборы.

В данной установке происходит имитация непрерывности процесса движения и прохождения стыка рельсов за счет того, что модель рельса выполнена в виде диска с пропилом, и создание продольных и поперечных нагрузок на модель колеса при прохождении прямых и кривых участков пути при помощи продольной и поперечной подач суппорта станка [2].

Модели колеса и рельса вращаются с определенной частотой, значения которой выбирались в соответствии с линейной скоростью вращения колесной пары с учетом поправочного коэффициента по π – теореме.

Данный эксперимент был проведен для случая прямых участков, с постоянной нагрузкой на ось.

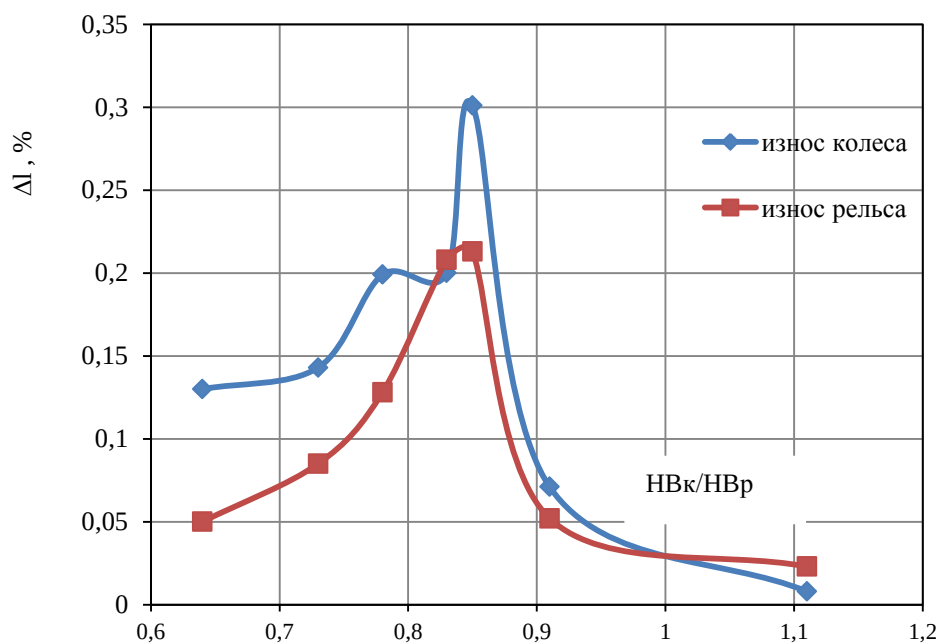


Рис. 3- Износ по относительному изменению линейного размера колесных и рельсовых образцов в зависимости от соотношения их твердости

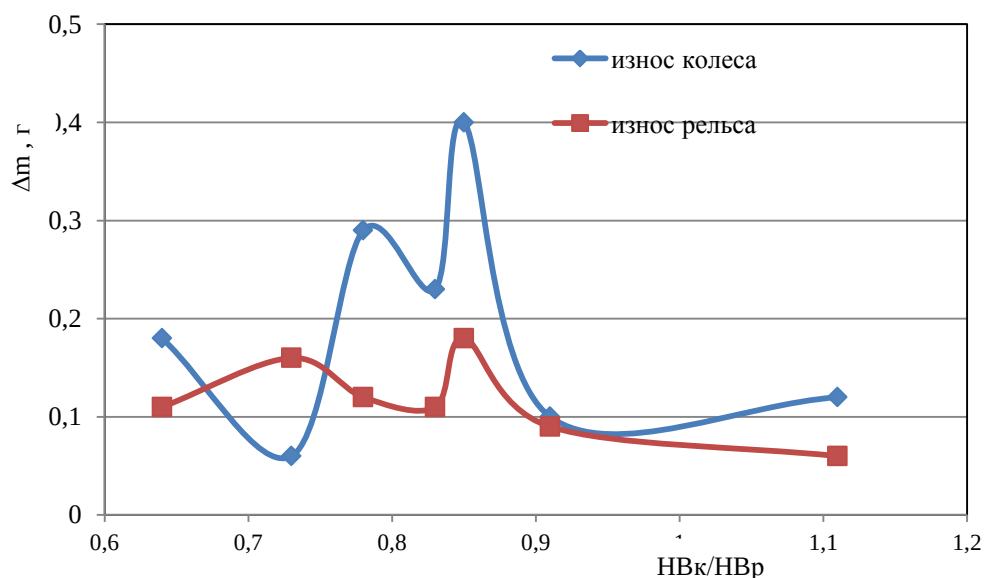


Рис. 4- Износ по потере массы колесных и рельсовых образцов в зависимости от соотношения их твердости

Твердость модели рельса оставалась постоянной и равной 401 НВ, что соответствует верхнему пределу твердости рельса по ГОСТ 351685-2000, а твердость модели колеса варьировалась в пределах 293-363 НВ в соответствии с ГОСТ 10791-2004. Также в данном эксперименте использовались образцы с твердостью, выходящей за пределы, установленные стандартом, чтобы получить полную картину по износостойкости колеса и рельса. В качестве измеряемого параметра использовалась относительная потеря линейного размера образцов колеса и рельса в зависимости от соотношения их твердости и потеря веса образцов. Соотношению 0.64 соответствует твердость образца серийного колеса 255 НВ; 0.73 – 293 НВ; 0.78 – 311 НВ; 0.83 – 331 НВ; 0.85 – 341 НВ; 0.91 – 363 НВ и соотношению 1.11 соответствует твердость образца 444 НВ.

Из графиков (рис. 3, 4) видно, что минимальный износ и колеса и рельса приходится на соотношения 0.91(НВк363/НВр401) и 1.11(НВк444/НВр401).

С повышением твердости колеса износ колесного и рельсового образцов возрастает до твердости НВ 341, что объясняется наличием микрорельефа, изменяющего на макроуровне контактные характеристики образцов колеса и рельса, к которым относятся номинальное давление, номинальная область контакта, зависимость внедрения от приложенной нагрузки. Далее износ уменьшается, что объясняется сродством прочностных характеристик материала колеса и рельса.

По проведенному экспериментальному исследованию на износ можно сделать вывод, что оптимальным соотношением твердости колеса и рельса является значение, близкое к 1, т.е. в пределах от 0.91(НВк363/НВр401), здесь имеет место минимальный износ и колеса и рельса по потере массы, до 1,11(НВк444/НВр401), что соответствует минимальному износу по относительной потере линейного размера образцов. Однако с точки зрения снижения стоимости ремонта колеса наиболее приемлемым является соотношение 0,78 (НВк311/НВр401).

В связи с тем, что мы не получили однозначного решения проблемы повышенной интенсивности изнашивания цельнокатаных колес и железнодорожных рельсов, требуются дальнейшие исследования по выбору рационального соотношения их твердости, в котором может быть достигнуто оптимальное соотношение механических свойств колесной и рельсовой стали.

Список литературы:

1. Гапанович В. А., Сосновский Л. А. Какой должна быть твердость рельсов // Железнодорожный транспорт. – 2009. - № 12. - С. 36-40.
2. Патент РФ № 2010118122/11, 05.05.2010
Ражковский А.А., Петракова А.Г., Бунькова Т.Г. Устройство для имитации процесса движения колеса по рельсу // Патент России № 98070. Бюл. № 27.

05.02.08.

Виноградова Т.Г., Салов П.М., д.т.н., Салова Д.П.. к.т.н.

*Чебоксарский политехнический институт (филиал) Московского государственного
открытого университета
Россия, Чебоксары*

salov-pm@yandex.ru, tavin2008@mail.ru, domnika-s@mail.ru

КАЧЕСТВО ОБРАБОТАННЫХ ОТВЕРСТИЙ ПРИ ЭЛЕКТРОКОРУНДОВОМ И АЭРОБОРНОМ ШЛИФОВАНИИ

Изложены результаты исследований геометрической точности, микротвердости и остаточных напряжений в поверхностном слое при шлифовании отверстий в стальных заготовках. Выявлена взаимосвязь волнистости с автоколебаниями. Представлена новая гипотеза формирования остаточных напряжений. Выявлены преимущества аэробных кругов.

Ключевые слова: Внутреннее шлифование, аэробор, геометрическая точность, микротвердость, остаточные напряжения

При внутреннем шлифовании точность обработки во многом определяется жесткостью технологической системы (ТС). Незначительное превышение допустимых режимов резания вызывает существенные геометрические отклонения (см. табл. 1.).

Таблица 1 - Геометрические характеристики отверстий диаметром 60 мм, длиной 40 мм из закаленной стали 30ХГСН2А

Характеристика круга	P_y , Н	Δ ,	Δd ,	Δl ,	W_z ,	$R_{z \max}$,
		мкм				
Л80/63-С10-СТ1-7К-100	52	9,5	5	4	2	1,9
Л80/63-Б156-100	120	23,5	8	6	4	1,6
Аэробор	48	7,8	3	3	2	1,7
АСР10-Б156-100	132	26	9	7	4	1,4
25А-25-СМ2-7К	141	29	10	8	5	3,5

Примечание: Δ – отжатие конца шпинделя, Δd – некруглость, Δl – нецилиндричность, W_z – амплитуда волнистости, $R_{z \max}$ – наибольшая шероховатость поверхности. СОЖ – Укринол-1 (раствор).

Лучшие результаты получены при шлифовании кругами, имеющими большую производительность и обеспечивающее меньшую теплонапряженность процесса. При этом имеют место меньшие натяги в ТС в конце рабочего цикла. Подобная закономерность наблюдается и при изменении режимов резания (см. рис. 1.).

Элементы режима резания в разной степени влияют на отдельные геометрические отклонения. Например, увеличение поперечной подачи $S_{\text{поп}}$ в 3 раза, увеличивало некруглость в 2 раза (с 5 до 11 мкм), а скорости детали V_d в 1,8 раза увеличивало Δd от 5 до 13 мкм, т.е. в 2,6 раза. С увеличением скорости круга V_k минимальные геометрические отклонения получены на скорости 20-25 м/с. Ухудшение геометрических отклонений с дальнейшим увеличением скорости круга связано с появлением вибраций. Наиболее интенсивный рост искажений геометрии отверстия начинался при отжатиях $\Delta = 26$ мкм, что соответствует силе $P_y = 130$ Н.

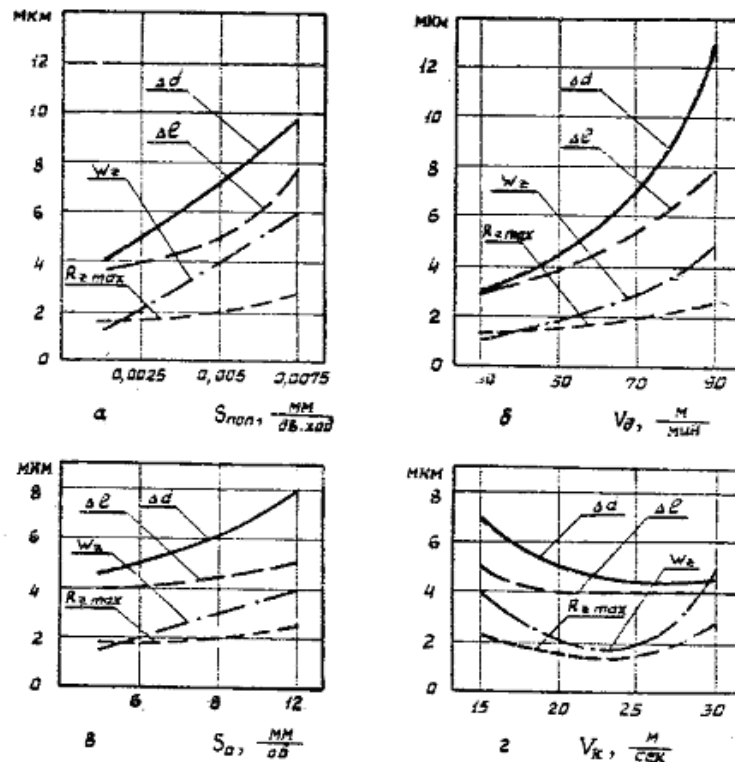


Рисунок 1 - Влияние режимов обработки на некруглость (Δd) и нецилиндричность (Δl) отверстий, амплитуду волнистости (W_z) и наибольшую высоту шероховатости $R_{z \text{ max}}$. Круг: Аэроборный; материал: ст. 30ХГСН2А.

При увеличении отжата в ТС свыше 34 мкм на круге появлялась волнистость, вызванная автоколебаниями. Амплитуда волн непрерывно увеличивалась, средняя высота микропрофиля круга на выступах уменьшалась, что приводило к засаливанию. Шероховатость обработанной поверхности увеличивалась.

Изучение волнограмм, снятых с обработанной поверхности, показало, что амплитуда волнистости колебалась в пределах – от 1 до 6 мкм, а количество волн изменялось незначительно (рис. 2). Используя результаты исследований динамических качеств станка Si50 установлено, что частота относительных колебаний между кругом и деталью находится в пределах от 180 до 340 Гц. Источником возникновения подобных частот на станке служит шлифовальный шпиндель с динамическим или статическим дисбалансом.

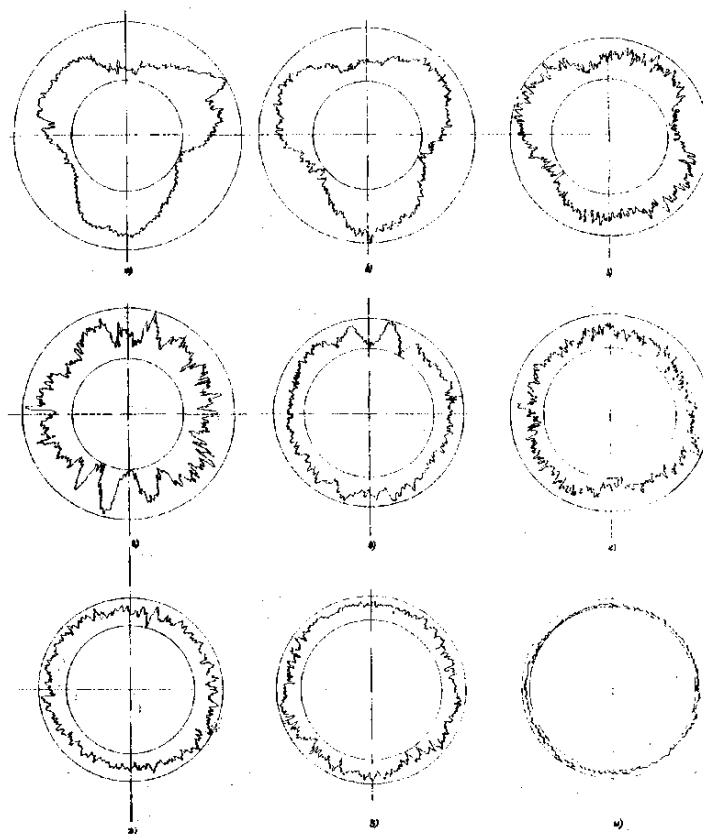


Рисунок 2 - Круглограммы обработанных отверстий:

а - после растачивания; б, в, г после 2,6 и 10 двойных ходов; д - $S_o = 10$ мм/об;
 е - $V_k = 28$ м/с; ж - $V_d = 80$ м/мин; з - $S_{\text{поп}} = 0,005$ мм/дв.х, $n = 20$ дв.х; и - $S_{\text{поп}} = 0,0025$ мм/дв.х.
 Дополнительные режимы обработки: $V_k = 22$ м/с, $V_d = 50$ м/мин, $S_{\text{поп}} = 0,0025$ мм/дв.х., $S_o = 6$ мм/об, $n = 40$ дв.х.

Из круглограмм следует, что на волнистость, вызванную дисбалансом шпинделя, накладываются колебания большой частоты и малой амплитуды, соответствующие собственным колебаниям шпиндельного узла.

При малых отжатах в ТС дисбаланс шпинделя и амплитуда волнистости уменьшались. Нецилиндричность отверстия также зависит от величины отжатия в ТС, однако в некоторых случаях ее можно уменьшить с помощью регулирования перебега круга и длительности его задержки при реверсировании.

Сравнивая опорные длины профиля (t_p) поверхностей после шлифования эльборовыми, аэробными и электрокорундовыми кругами на керамической связке, установлено следующее. При работе без выхаживания опорная поверхность после эльборового и аэробного шлифования выше, чем после электрокорундового, а при наличии выхаживания – наоборот. Это объясняется тем, что на зернах электрокорунда при приработке, а также тонкой правке образуются площадки износа, способствующие заглаживанию поверхности. Однако электрокорундовый круг больше, чем эльборовый и аэробный предрасположен к образованию отдельных глубоких рисок за счет большой разновысотности профиля и наличия налипов (высота микропрофиля была $h_{cp} = 60-80$ мкм). Поэтому при одинаковых величинах R_a большие величины $R_{z \max}$ наблюдаются при обработке электрокорундовыми кругами.

Применение выхаживания в конце рабочего цикла позволяет существенно снизить геометрические отклонения. Процесс выхаживания аэробными кругами на станке Si50 целесообразнее производить на режимах: $V_k = 20 - 25$ м/с, $V_d = 30 - 40$ м/мин, $S_o = 5 - 6$ мм/об,

$S_{\text{поп}} = 0,00125 - 0,0025$ мм/дв.х. На указанных режимах геометрические отклонения уменьшаются на 40-60% в течение 5 двойных ходов, а в следующие 5 - еще на 10-15%. Полученная геометрическая точность отверстий не ниже 6-7 квалитетов. Дальнейшее выхаживание, как правило, не улучшает геометрической точности.

При рекомендуемых режимах шлифования эльборовыми и аэробными кругами наблюдалось повышение микротвердости поверхности с наиболее вероятным процентом упрочнения – 8-14% (см. рис. 3, а и б). Электрокорундовые круги формировали поверхности как повышенной микротвердости с упрочнением 11-22%, так и пониженной микротвердости с разупрочнением до 10-14% (см. рис. 3, в и г).

Дефектов в виде отпущенного слоя или вторичной закалки после эльборового и аэробного шлифования не обнаружено.

После электрокорундового шлифования на поверхности обнаружены пятна со структурно-измененными слоями. Большая часть пятен – зоны вторичного отпуска. Их микротвердость на глубине 5-15 мкм меньше исходной (см. рис. 3, г). Некоторая часть пятен - зоны вторичной закалки с повышенной твердостью тонкого поверхностного слоя, лежащего на слое отпущенного металла (кривая 3). Подобные дефекты вызваны высокой локальной температурой шлифования.

С увеличением режимов эльборового и аэробного шлифования разброс значений микротвердости по обрабатываемой поверхности увеличивается. Наибольшее влияние на величину микротвердости оказывает скорость резания. При $V_k = 15-22$ м/с слоев с пониженной микротвердостью практически не наблюдалось. Распределение микротвердости по глубине отображено кривой 1 (рис. 3, б). При $V_k \geq 25-27$ м/с на поверхности наблюдаются «вибрационные штрихи» – зоны вторичного отпуска, которые характеризуются пониженной микротвердостью (кривая 2). С изменением режимов аэробного шлифования колебание микротвердости незначительное.

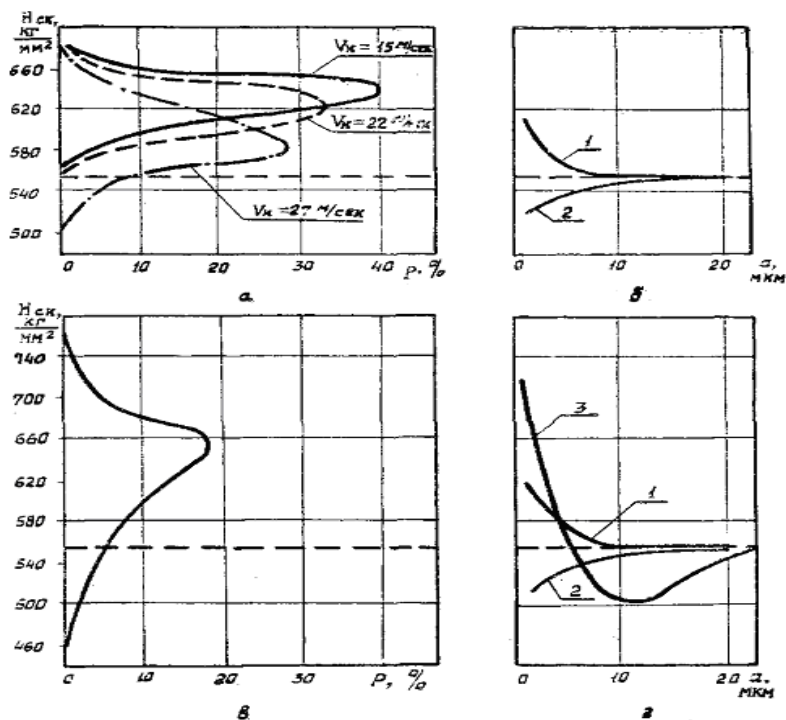


Рисунок 3 - Распределение значений микротвердости после эльборового (а, б) и электрокорундового (в, г) шлифования. Круги: Аэробор и 25А-25-СМ2-К7. Материал: ст. 30ХГСН2А. Режимы обработки: $V_k = 22$ м/с, $V_d = 50$ м/мин, $S_0 = 6$ мм/об, $S_{\text{поп}} = 0,0025$ мм/дв.х., $n = 40$ дв.х.

Увеличение поперечной подачи свыше 0,005 мм/дв.ход или продольной свыше 10 мм/об также увеличивает вероятность возникновения прижогов. Увеличение скорости детали от 30 до 70 м/мин практически не сказывается на изменении микротвердости. Дальнейшее увеличение скорости нежелательно, т.к. приводит к появлению «вибрационных штрихов», вызванных увеличением амплитуды волнистости на круге. Применение выхаживания в конце рабочего цикла способствует выравниванию микротвердости по всей обработанной поверхности. После эльборового и аэроборного шлифования степень упрочнения составляла 5-10%, а после электрокорундового – 8-15%. Выхаживание не всегда устраняло дефекты поверхностного слоя. После электрокорундового шлифования под наклепанным слоем обнаруживался слой пониженной микротвердости.

При шлифовании в поверхностном слое могут образоваться как сжимающие, так и растягивающие остаточные напряжения. Среди исследователей и практиков не существует единого мнения о механизме формирования остаточных напряжений. Некоторые исследователи считают, что преобладающим фактором в формировании остаточных напряжений является тепловой, а силовой оказывает второстепенное действие. Другие считают, что механизм остаточных напряжений сложнее.

По нашему мнению, остаточные напряжения при шлифовании формируются при взаимодействии деформационного поля резания от воздействия усилий и тепла, деформаций от теплового последствия после снятия напряженности от силового поля (термопластических деформаций) и фазо-структурных превращений [1]. Для доказательства на рисунке 4 приведены эпюры остаточных напряжений в призматических образцах из закаленной стали 30ХГСН2А размерами 80х10х4 мм, разноориентированных в пространстве [1].

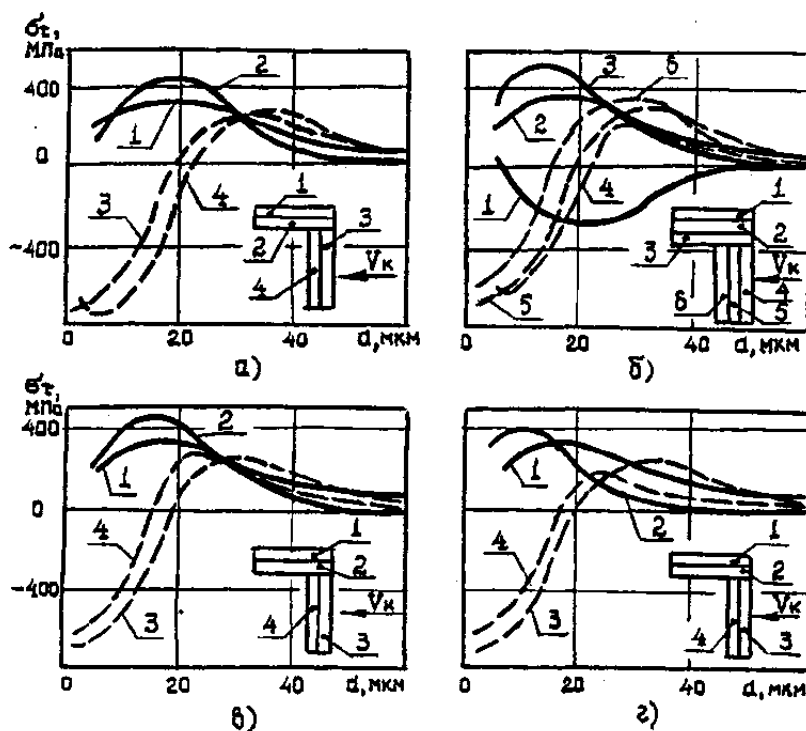


Рисунок 4 - Влияние направленности обработки и режимов плоского шлифования на величину остаточных напряжений.

Круг – Л80/63-С10-СТ1-100; Материал - сталь 30ХГСН2А (HRC 48-52); СОЖ на основе 2% содового раствора. Режимы: исходные - $V_k=27$ м/с, $t_n=0,01$ мм, $V_d=3$ м/мин, $S_n=1,5$ мм/дв. х., где t_n – глубина шлифования по лимбу; изменяющиеся – а - 1,3 – $t_n=0,01$ мм, 2,4 – $t_n=0,02$ мм, б - 1,4 – $V_k=18$ м/с, 2,5 – $V_k=27$ м/с, 3,6 – $V_k=36$ м/с; в - 1,3 – $S_n=1,5$ мм/дв. х., 2,4 – $S_n=3$ мм/дв. х.; з - 1,3 – $V_d=3$ м/мин, 2,4 – $V_d=4$ м/мин.

В образцах, ориентированных большим своим размером вдоль проекции скорости резания на плоскость стола, возникают растягивающие остаточные напряжения, а ориентированных поперек - сжимающие. Подобные результаты получены и другими исследователями, однако они не получили должного объяснения. Отличие напряженных полей различно ориентированных образцов не только по величине, но и по знаку напряжений объяснить только за счет теплового воздействия не представляется возможным, т.к. температурное поле не создает анизотропии деформаций. Кроме того, относительные деформации от теплового воздействия не превышают 1,5%, а для разрушения элемента необходимо обеспечить деформацию не менее 15%. [1]. Необходимо учитывать также упрочнение материала при скорости деформаций, соответствующих процессу шлифования [2]. Из чего следует, что термопластические деформации от локальных (импульсных) температур не могут быть значительными, поэтому они не в состоянии оказать значительного воздействия на остаточные напряжения.

Основной причиной возникновения дефектов на шлифованной поверхности является высокий уровень контактных (среднеинтегральных) температур. Аэроборные круги по сравнению с электрокорундовыми, обеспечивают большую производительность и меньшую теплонапряженность процесса, что благоприятно сказывается на качестве обработанных поверхностей.

Список литературы:

1. Салов, П.М. Принципы самоорганизации износа шлифовальных кругов / П.М. Салов, Б.А. Кравченко. – Самара: Самар.гос.техн. ун-т, 2001. – 118 с.
2. Корчак, С.Н. Производительность процесса шлифования стальных деталей/ С.Н.Корчак. - М.: Машиностроение, 1974. - 280 с.

Д.В. Вожегов, Д.А. Страбыкин д.т.н.

ГОУ ВПО «Вятский государственный университет»,
факультет автоматики и вычислительной техники,
кафедра электронных вычислительных машин,
Россия, Киров, vodimetry@rambler.ru

МЕТОД ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ДЕДУКТИВНОГО ЛОГИЧЕСКОГО ВЫВОДА С ОПРЕДЕЛЕНИЕМ ФАКТОВ

Предлагается метод параллельного дедуктивного вывода с определением фактов. Отмечаются актуальность, новизна и достоинства метода.

Ключевые слова: дедуктивный логический вывод, определение фактов, параллельные вычисления.

В настоящее время существует множество методов логического вывода. Самые эффективные из них позволяют ускорить логический вывод за счёт распараллеливания вычислений и минимизации обрабатываемых данных.

Одним из эффективных методов логического вывода является «Метод параллельного дедуктивного вывода» [1], основу которого составляет операция деления дизъюнктов. Метод является двунаправленным и параллельным. Данный метод, даже для простейших задач по сравнению с наиболее распространёнными методами уменьшает время вывода в 2,5-10 раз. В работе предлагается метод параллельного дедуктивного вывода с определением фактов, в основе которого лежит процедура поиска фактов, использующая операцию деления дизъюнктов. Метод позволяет определить факты, которые привели к успешному выводу, при этом не прерывает процедуру вывода, а также является параллельным и двунаправленным.

Постановка задачи. Задачу логического вывода заключений с определением фактов можно сформулировать следующим образом. Имеются исходные непротиворечивые посылки, заданные в виде множества дизъюнктов $M = \{D_1, D_2, \dots, D_I\}$. Причем во множестве M присутствуют однолитеральные дизъюнкты, представляющие факты. Также имеется заключение (d), которое не противоречит M . Задача логического вывода заключения с определением фактов формулируется следующим образом:

1) установить выводимость заключения d из множества исходных посылок $M = \{D_1, D_2, \dots, D_I\}$;

2) найти для d множество фактов $E = \{e_1, e_2, \dots, e_L\}$ такое, что выполняются следующие условия:

а) множество $E = \{e_1, e_2, \dots, e_L\}$ является подмножеством множества $M = \{D_1, D_2, \dots, D_I\}$;

б) факты из множества E приводят к успешному дедуктивному логическому выводу заключения d .

Процедура логического вывода с определением фактов. Для решения поставленной задачи разработана процедура логического вывода с определением фактов, которая основана на операции деления дизъюнктов [1].

Формально процедура может быть представлена следующим образом:

$V = \langle M, d, q, E, M_1, m \rangle$, где $M = \{D_1, D_2, D_3, \dots, D_I\}$ – множество исходных посылок; $\tilde{D}_i = L_{i,1} \vee L_{i,2} \vee \dots \vee L_{i,j}$ – дизъюнкт i -й посылки, состоящий из литералов $L_{i,j}$; $\tilde{d} = L_1 \vee L_2 \vee \dots \vee L_K$ – дизъюнкт заключения, состоящий из литералов L_k ; $E = \{e_1, e_2, \dots, e_L\}$ – подмножество множества M , содержащее факты, которые привели к успешному логическому выводу; q – признак результата выполнения процедуры: 0 – вывод окончен успешно, g – вывод может быть продолжен, 1 – вывод окончен неудачей; M_1 – новое множество исходных; а m – выводимых дизъюнктов для продолжения вывода.

Выполнение процедуры логического вывода с определением фактов состоит из следующих шагов:

Шаг 1. Все дизъюнкты исходных посылок делятся на дизъюнкт заключения: $b_i = D_i \div d$, $i=1, \dots, I$. Остаток b_i представляет собой дизъюнкт, состоящий из литералов исходного дизъюнкта D_i , которые остаются в нем после исключения литералов, содержащимися в дизъюнкте d . При этом если из дизъюнкта D_i исключаются все литералы, то $b_i=0$, а если дизъюнкты D_i и d не имеют одинаковых литералов, то $b_i=1$.

Шаг 2. Анализируются полученные остатки:

1. Если все остатки от деления $b_i=1$, то $q=1$, заключение не выводится из исходных посылок, переход к шагу 5.

2. Если существуют остатки от деления $b_i=0$ и D_i – факты, то они включаются во множество E .

3. Остатки b_i перемножаются и упрощаются, путём исключения конъюнкций $L \& \sim L (0 \& L)$. Если при перемножении остатков получается ноль, то принимается $q=0$, и осуществляется переход к шагу 5.

Шаг 3. Получение нового множества выводимых дизъюнктов.

1. Полученное после перемножения остатков и упрощения выражение является дизъюнктивной формой вида: $X_1 \vee X_2 \vee X_3 \vee \dots \vee X_p \rightarrow 0$, в которой $X_p \leftrightarrow L_{1,p} \& L_{2,p} \& \dots \& L_{tr,p}$. Это выражение преобразуется с помощью правила разъединения-соединения во множество секвенций $L_{1,p} \& L_{2,p} \& \dots \& L_{tr,p} \rightarrow 0$.

2. Каждая секвенция с использованием правила переноса преобразуется в секвенцию вида $1 \rightarrow \sim X_p$, правая часть которой преобразуется в новый дизъюнкт.

3. Полученные дизъюнкты рассматриваются как дизъюнкты новых заключений и включаются во множество m .

4. Устанавливается $q=g$.

Шаг 4. Формируется новое множество дизъюнктов исходных посылок $M1=M-M0$, где $M0$ – подмножество дизъюнктов множества M , для которых остаток от операции деления не равен 1.

Шаг 5. Конец процедуры логического вывода заключений с определением фактов.

Процедура логического вывода с определением фактов имеет следующие отличия от процедуры логического вывода, описанной в [1]:

- добавлено множество фактов $E=\{e_1, e_2, \dots, e_L\}$, которые привели к успешному выводу;
- введено новое условие (шаг 2, пункт 2), которое определяет, что факт приводит к успешному дедуктивному выводу.

Метод логического вывода. Метод параллельного дедуктивного вывода с определением фактов, которые привели к успешному логическому выводу, состоит в многократном повторении описанной процедуры. На каждом шаге процедуры параллельно применяются к дизъюнктам заключений и соответствующим им дизъюнктам исходных посылок, образуя новые дизъюнкты заключений и исходных посылок. Все факты, участвующие в данном выводе, заносятся во множество E . Процесс вывода заканчивается, когда на очередном шаге обнаруживается дизъюнкт заключения, для которого вывод не возможен ($q=1$), или для всех, выводимых на данном шаге дизъюнктов, будут сформированы признаки успешного завершения вывода ($q=0$).

Для полного описания метода параллельного дедуктивного вывода с уникальной идентификацией каждой процедуры и ее параметров воспользуемся индексной функцией [1].

Индексная функция. Индексную функцию $i(h)$ определим для индексной переменной t следующим образом:

$i(1)=t, t=1;$

$i(2)=t.t_i=i(1).t_i(1), t_i(1)=1, \dots, T_i(1);$

$i(3)=t.t_i.t_v (V=t.t_i), i(3)=i(2).t_i(2), t_i(2)=1, \dots, T_i(2);$

и т.д.

В общем случае: $i(h+1)=i(h).t_{i(h)}$, $t_{i(h)}=1,...,T_{i(h)}$.

Будем считать, что $i(0)$ означает отсутствие индекса у индексируемой переменной, например, $T_{i(0)}=T$, а также, что $i(1)=i(0).t_{i(0)}=t$.

Например, если $T=1$, $T_{1.1}=T_{1.3}=2$, $T_1=3$, тогда будут определены следующие множества индексируемых переменных (рисунок 1): $V_{i(1)}$, $i(1)=t$, $t \in \{1\}$; $V_{i(2)}$, $i(2) \in \{1.t_1, 3.t_3\} = \{1.1, 1.2, 1.3\}$; $V_{i(3)}$, $i(3) \in \{1.1.t_{1.1}, 1.3.t_{1.3}\} = \{1.1.1, 1.1.2, 1.3.1, 1.3.2\}$.

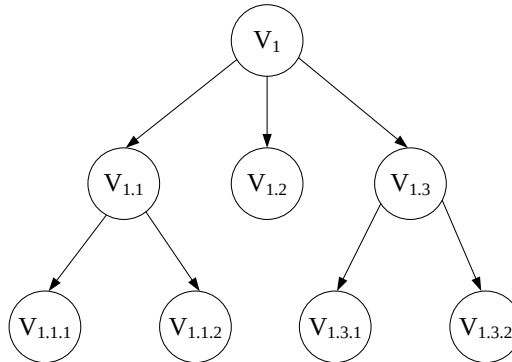


Рисунок 1 – Множества переменных с индексами

Описание метода. Введём следующие обозначения: переменная h – номер шага вычислений; Q_h – признак окончания вывода на h -м шаге ($Q_h=0$ – вывод завершен успешно, $Q_h=g$ – вывод может быть продолжен, $Q_h=1$ – вывод завершен неудачей). Тогда описание параллельного выполнения логического вывода может быть представлено в следующем виде.

1. Определение начальных условий: $h=1$, $M_i(0)=M$, где $M=\{D_1,...,D_T\}$ – множество дизъюнктов исходных посылок, $i(1)=t$, $t=1,...,T$ (где T – число исходных дизъюнктов), $E=\{\}$ – множество искоемых фактов.

2. Выполнение процедур логического вывода с определением фактов для текущего шага h . Для всех заключений, у которых признак q на предыдущем шаге равен g , выполняются следующие процедуры поиска фактов:

$V_i(h)=\langle M_i(h-1), d_i(h-1), q_i(h), E, M_{1i}(h), m_i(h) \rangle$,

$i(h)=i(h-1).t_i(h-1)$; $t_i(h-1)=1,...,T_i(h-1)$.

3. Формирование и проверка общего признака окончания поиска фактов $Q_h=q_1(h) \vee q_2(h) \vee ... \vee q_T(h)$, $i(h)=i(h-1).t_i(h-1)$; $t_i(h-1)=1,...,T_i(h-1)$:

- если $Q_h=0$, то логический вывод заключений с определением фактов успешно завершается, факты, которые привели к успешному выводу, содержатся во множестве $E=\{e_1, e_2, ..., e_l\}$;

- если $Q_h=g$, то $h=h+1$, процедура вывода продолжается;

- если $Q_h=1$, то вывод завершается неудачей.

Вывод. Разработанный метод дедуктивного вывода заключений с определением фактов имеет следующие достоинства:

1) параллельное выполнение процедур вывода на каждом шаге метода ускоряет логический вывод, а также позволяет выполнять его на современных многоядерных вычислительных системах более эффективно, с точки зрения аппаратных и энергетических затрат;

2) определение фактов, обеспечивающих успешный логический вывод, не требует дополнительного времени, так как осуществляется одновременно с самим выводом.

Экспериментальная программа, разработанная на основе метода дедуктивного вывода заключений с определением фактов, подтверждает перспективность метода.

Список литературы:

1. Страбыкин, Д.А. Логический вывод в системах обработки знаний [Текст] / под ред. Д. В. Пузанкова. СПб. СПбГЭТУ, 1998. 164 с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ ЗОН ОБНАРУЖЕНИЯ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ ОХРАНЫ ПЕРИМЕТРОВ ОБЪЕКТОВ

Получены выражения для определения размеров зоны обнаружения турникетных радиотехнических датчиков. Определены максимумы зоны необнаружения для различных практически значимых случаев. Рассмотрена оптимизация пространственного расположения ДОС с целью получения заданных геометрических размеров зоны обнаружения.

Ключевые слова: датчик охранной сигнализации, турникетный радиолучевой датчик, диаграмма направленности, зона обнаружения

Рассмотрим вопрос определения размеров зон обнаружения датчиков охранной сигнализации (ДОС) радиотехнических устройств обнаружения (РУО), которые нашли широкое применение совместно с телевизионными системами видеоконтроля (ТСВ). Определение зон обнаружения ДОС позволяет оптимизировать их совместное использование с ТСВ.

Остановимся для определенности на турникетных радиолокационных ДОС [1], наиболее часто применяемых для охраны периметров охраняемого объекта. В качестве турникетных датчиков наиболее часто используют радиолучевые датчики (РД), поскольку размер их зоны обнаружения достаточно мал вследствие малых значений угла раскрыва диаграмм направленности (ДН) используемых передающих и приемных антенн, что, в частности, позволяет избежать ложного оповещения о вторжении потенциального объекта-нарушителя, находящегося на некотором удалении от рубежа охраны, но непосредственно не представляющего угрозы вторжения. Одной из особенностей приемника радиолучевого ДОС является то, что приемник реагирует не только на полное исчезновение сигнала, но также и на изменение его параметров, например, глубины модуляции сигнала, что в целом увеличивает достоверность обнаружения.

При использовании в интегрированных системах охраны объектов турникетных РД существует ряд специфических особенностей, характерных только для охранных систем, работающих в условиях радиолокации на ближних расстояниях, например, рассматривается случай, при котором размеры объекта гораздо больше объема разрешения, т. е. случай, при котором следует учитывать протяженный характер объекта. Решение о вторжении в турникетных ДОС может приниматься как по наличию (режим активной локации), так и по отсутствию (режим полуактивной локации) сигнала в приемнике при нарушении периметра. В значительном количестве случаев в охранных устройствах периметра используется второй режим, когда передатчик и приемник размещаются на одной линии – рубеже охраны – напротив друг друга. Отметим, что с целью повышения достоверности обнаружения возможно использование обоих режимов; такая реализация осуществляется в двухканальных РД [2].

Рассмотрим определение некоторых геометрических размеров зоны обнаружения турникетных РД. Зона обнаружения одиночного РД (локационный режим) имеет вид конуса, в вершине которого расположен датчик. Очевидно, что существует вполне определенное расстояние, другими словами длина зоны обнаружения, на котором происходит обнаружение объекта-нарушителя с заданной вероятностью [3]. В приведенном случае в первом приближении длина зоны обнаружения представляет собой высоту конуса.

При использовании режима полуактивной локации зона обнаружения представляет собой пересечение, а в ряде случаев и объединение, двух конусов; передающая и приемная антенны при этом расположены в вершинах соответствующих конусов. Остановимся далее более подробно на зоне обнаружения, получаемой в первом, наиболее характерном случае, который в дальнейшем будем называть «зона пересечения».

Рассматривать зону обнаружения, получаемую как результат объединения двух конусов («зона объединения»), в настоящей статье в деталях не представляется целесообразным, поскольку в турникетных датчиках в большинстве практических применений интерес представляет не обнаружение объекта-нарушителя как таковое, а факт пересечения этим объектом рубежа охраны. Отметим также, что вероятность обнаружения объекта-нарушителя внутри «зоны объединения», но вне «зоны пересечения» будет существенно ниже, например, вследствие протяженного характера объекта [4].

В значительном количестве случаев турникетные ДОС призваны контролировать проникновение объекта-нарушителя поверх ограждения и поэтому располагаются на некоторой высоте от уровня земли h (рис. 1). Интерес для практической реализации рубежей охраны с применением турникетных ДОС представляет нахождение зависимости, связывающей высоту расположения датчиков над уровнем земли, длину рубежа охраны – расстояние l между передающей A и приемной B антеннами – и соответственно углами раскрытия α и β ДН этих антенн. Другими словами, следует найти зависимость, определяющую размеры зоны обнаружения в ее вертикальном сечении. Получение названной зависимости позволит, например, по известным величинам h и l выбирать подходящие по параметрам ДОС. Очевидно, возможно решение обратной задачи: используя антенны с известными углами раскрытия ДН, определять размеры зоны обнаружения.

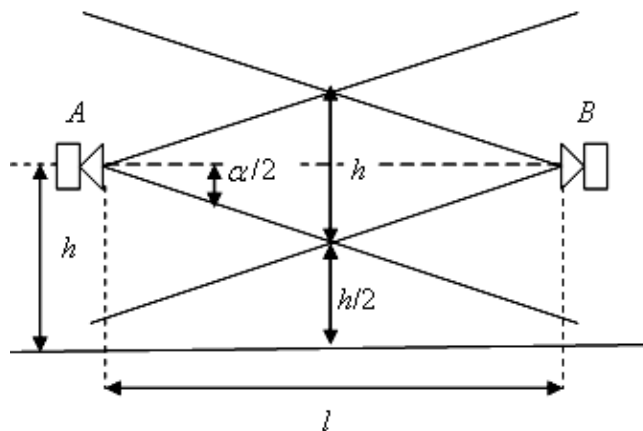


Рис. 1. Типовое расположение датчиков

Проведенный анализ позволил получить выражения для практически важных случаев взаимного расположения ДН антенн и их углов раскрытия. Так, для наиболее типичного случая расположения антенн (рис. 1), когда главные оси обоих ДН совпадают и углы раскрытия передающей и приемной антенн одинаковы ($\angle \alpha = \angle \beta$), для расчетов вертикального сечения зоны обнаружения используется выражение:

$$h = l \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right) = l \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\beta}{2}\right). \quad (1)$$

На рис. 1 названному расположению соответствуют сплошные линии, определяющие вертикальные границы ДН передающей и приемной антенн. Анализ взаимного расположения турникетных ДОС приводит к следующему выводу: при заданных величинах h , l , α и β между передающей и приемной антеннами для рассматриваемого случая «зона пересечения»

существует зона необнаружения с максимумами, равными h , на линиях расположения каждого из датчиков. Отметим также, что в случае анализа «зоны объединения» максимум зоны необнаружения располагается ровно посередине между передающей и приемной антеннами и, как видно из рис. 1, максимум зоны необнаружения будет в два раза меньшим: $h/2$.

Уменьшить величину зон необнаружения возможно, встречно располагая соседние ДОС таким образом, чтобы их зоны обнаружения пересекались. Однако, по различным причинам (например, в углах контролируемого периметра) такое расположение датчиков не всегда возможно и, более того, значительного уменьшения зоны необнаружения при использовании только одного этого решения не происходит – следует искать и другие решения, например, применяя двухканальные ДОС, сочетающие в себе обнаружение в локационном и полулокационном режимах.

Очевидно, что наиболее простым решением уменьшения зоны необнаружения служит увеличение угла раскрыва ДН антенн (используя датчик с требуемым значением угла раскрыва), но такое решение имеет достаточно ограниченное применение: радиолучевые ДОС умеют узкие ДН, требуется большая мощность передатчика, может быть ограничен выбор датчиков и т. п. Более приемлемым решением представляется оптимизация пространственного расположения передающего и приемного датчиков на уровне рубежа охраны (чаще всего это уровень ограждения), которую возможно проводить для двух случаев: уменьшения зоны необнаружения в ее вертикальном сечении выше либо ниже рубежа охраны. Отметим, что оптимизацию в названных случаях можно свести к асимметричному расположению углов раскрыва ДН относительно прямой, связывающей передающую и приемную антенны; расчетные соотношения при этом будут одинаковыми.

Несмотря на то, что практически более значимым является первый случай, рассмотрим для большей наглядности второй. Для уменьшения зоны необнаружения ниже рубежа охраны следует максимально возможно развернуть обе антенны вниз. На рис. 2 ближняя граница ДН антенн в этом случае обозначена пунктирной линией. Угол поворота антенны относительно оси подвеса может быть различным; при фиксированном значении величины угла раскрыва ДН антенны и совпадении рубежа охраны с линией связывающей приемную и передающую антенны получаем минимальную зону необнаружения ниже рубежа охраны. При этом $\angle \alpha' = \angle \alpha$, где угол α' представляет собой угол между дальней границей ДН антенны и прямой, связывающей передающую и приемную антенны.

На рис. 2 представлен некоторый промежуточный угол поворота антенн и $\angle \alpha' = \angle \alpha - \angle \alpha''$, в котором угол α'' представляет собой угол между ближней границей ДН антенны и названной прямой (сплошная линия).

В общем случае углы раскрыва ДН передающей и приемной антенн различны ($\angle \alpha \neq \angle \beta$); однако практически значимым является частный случай равенства углов раскрыва: $\angle \alpha = \angle \beta$, для которого, используя (1), можно получить выражение для определения максимума зоны необнаружения:

$$\begin{aligned} & \text{– при } \angle \alpha' = \angle \alpha \text{ и } \angle \beta' = \angle \beta \\ & \quad h = 0,5l \cdot \operatorname{tg}(\alpha') = 0,5l \cdot \operatorname{tg}(\beta'), \quad (2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{– при } \angle \alpha' < \angle \alpha \text{ и } \angle \beta' < \angle \beta \\ & \quad h = h' + 0,5l \cdot \operatorname{tg}(\alpha') = h' + 0,5l \cdot \operatorname{tg}(\beta'), \quad (3) \end{aligned}$$

в котором h' – параметр зоны необнаружения (максимум зоны необнаружения для «зоны объединения»).

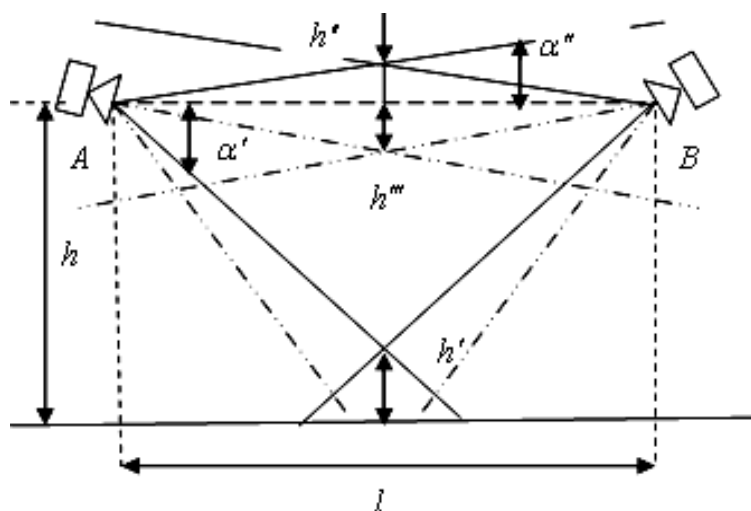


Рис. 2. Типовое расположение датчиков

В свою очередь «верхний» максимум зоны обнаружения h'' определится в случае, когда $\alpha'' \neq 0$ и $\alpha'' = \beta''$, выражением

$$h'' = 0,5l \cdot \operatorname{tg}(\alpha'') = l \cdot \operatorname{tg}(\beta''). \quad (4)$$

Необходимо также отметить, что угол поворота антенн относительно точки подвеса может быть еще большим (зона обнаружения показана на рис. 2 штрихпунктирной линией), когда даже ближняя граница ДН антенн расположена ниже прямой, связывающей передающую и приемную антенны. Такая зона обнаружения возникает при использовании антенн с весьма узкой ДН либо в случае излишне высокого подвеса антенн, связанным, например, с особенностями их монтажа на охраняемом объекте. В обоих случаях следует учитывать появляющийся «провал» в зоне обнаружения, обозначенный h''' .

Интерес также представляет определение параметров вертикального сечения зоны обнаружения для случая, представленного на рис. 3, когда следует получить нижний (либо верхний) край зоны обнаружения в виде линии с расположенной, например, по соответствующему краю ограждения либо по любому другому уровню. Оптимизация пространственного расположения антенн ДОС позволяет решить и эту задачу.

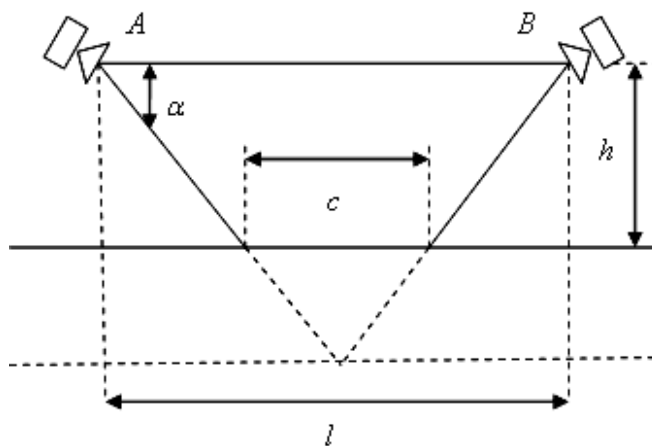


Рис. 3. Оптимизация пространственного расположения датчиков

Для формирования заданной конфигурации зоны обнаружения следует использовать выражение (при $\angle\alpha = \angle\beta$)

$$c = l - 2h \cdot \operatorname{tg} \alpha = l - 2h \cdot \operatorname{tg} \beta, \quad (5)$$

где h – высота подвеса антенн.

Максимизацией величины c , а, следовательно, и отношения c/l , добиваются уменьшения зон необнаружения, расположенных вблизи передающей и приемной антенн.

В результате проведенного анализа получены выражения для определения размеров зоны обнаружения турникетных ДОС в ее вертикальном сечении; определены максимумы зоны необнаружения для различных практически значимых случаев, а также рассмотрены пути их уменьшения; рассмотрена оптимизация пространственного расположения ДОС при формировании рубежа охраны.

Список литературы:

1. Воловач В.И. Определение вероятности обнаружения протяженных объектов радиотехническими устройствами охранной сигнализации // XII Международная научно-техническая конференция «Радиолокация, навигация, связь». Сборник докладов конференции. Том III. – Воронеж: НПФ "САКВОЕЕ", 2006. – С. 2000-2009.
2. Воловач В.И. Помехоустойчивость типовых вариантов построения радиотехнических устройств охранной сигнализации // Школа университетской науки: парадигма развития. – 2010. – Т. 2, № 1(1). – С. 265-270.
3. Воловач В.И. Законы распределения дальности действия охранной сигнализации и достоверности обнаружения протяженных объектов // Известия Самарского научного центра РАН. Спец. выпуск «Наука – промышленности и сервису». 2006 г. – Самара: Изд-во Самарского научного центра РАН. – С. 51-57.
4. Воловач В.И. Увеличение достоверности обнаружения объектов радиотехническими датчиками турникетного типа // Современные методы и средства обработки пространственно-временных сигналов: сборник статей IV Всероссийской научно-технической конференции. – Пенза, 2006. – С. 18–20.

Е.А. Гербер, В.Н. Кутрунов д.ф-м.н.

Тюменский Государственный Университет,
Институт Математики и Компьютерных Наук
Россия, Тюмень
e.a.gerber@gmail.com, kvnkvknkv@rambler.ru

О ДВИЖЕНИИ КОЛЬЦА ВЯЗКОЙ НЕСЖИМАЕМОЙ КАПИЛЛЯРНОЙ ЖИДКОСТИ

Объектом изучения является плоское кольцо вязкой несжимаемой капиллярной жидкости, имеющее две свободные границы. В данной статье предлагается постановка задачи о движении рассматриваемого объекта. Данная задача рассмотрена в рамках классической и неклассической моделей гидродинамики.

Ключевые слова: вязкая несжимаемая капиллярная жидкость, уравнения Навье-Стокса, свободные границы.

Одной из самых распространенных форм вихрей являются вихревые кольца. Они изучаются уже давно, и помимо того, что часто встречаются в природе, обнаруживается также их заметное влияние на многие технологические процессы, связанные с переносом вещества. Как правило, в работах на эту тему исследуются вопросы, связанные с временем существования кольца, видом поля скоростей и наличием периодических движений. Нужно отметить, что свойства вихревых колец могут быть использованы и в подводном бурении [2], и в тушении нефтяных пожаров [1]. Исходя из вышесказанного, уже можно сделать вывод о широкой распространенности данного феномена в природе и, таким образом, становится очевидной актуальность изучения вихревых колец.

Вихревое кольцо, как правило, обладает двумя свободными границами и осевой симметрией, а также может изменять свою топологию, поэтому в данной работе рассматривается адекватная этим характеристикам математическая модель для описания его поведения с дополнительным ограничивающим предположением - кольцо предполагается плоским.

Постановка задачи о движении вязкой капиллярной жидкости

В работе рассматривается постановка задачи связанная с описанием динамики вращательного движения сечения бесконечного полого жидкого цилиндра со свободными границами с учетом как давления газа вне и внутри кольца, так и сил поверхностного натяжения. Для замыкания системы уравнений Навье-Стокса, позволяющих определить поле скоростей в результате решения начально-краевой задачи, используются определяющие соотношения, которые фиксируют связь между напряжениями и деформациями. В данной работе применяются определяющие соотношения, характерные для чисто механического континуума [3,4], которые можно представить в следующей форме:

$$T = -pI + 2MD, \quad (1)$$

где I - шаровой единичный тензор, (D_{ij}) - тензор скоростей деформации, $M = \begin{pmatrix} \mu & \mu_0 \\ -\mu_0 & \mu \end{pmatrix}$ -

матрица обобщенной динамической вязкости, где μ - динамическая вязкость, μ_0 - недиссипативная вязкость, которая может иметь любой знак. Таким образом, при наличии вращательной симметрии, данная модель приводит к описанию поведения обобщенной жидкости, частным случаем которой является и стоксова жидкость ($\mu_0 = 0$).

Пусть, в полярной системе координат, функциями, подлежащими определению, будут $R_1(t)$ и $R_2(t)$ - внешний и внутренний радиусы кольца в момент времени t . Пусть R_{10} , R_{20} - положение свободных границ в нулевой момент времени, причем R_{10} , $R_{20} > 0$. Анализ системы уравнений Навье-Стокса показывает, что уравнение для дивергенции обращается в тождество, для любой функции $\Phi(t)$, если зависимость радиальной скорости взять в виде: $u_r = r^{-1}\Phi(t)$.

Граничные условия для гидростатического давления на свободных границах $r = R_i(t)$ ($i = 1$ - внешняя граница кольца, $i = 2$ - внутренняя) следуя [6], приобретут вид:

$$\begin{cases} p_i = -2\mu \frac{\Phi}{R_i^2(t)} + \mu_0 \left(\frac{\partial u_\phi}{\partial r} - \frac{u_\phi}{R_i(t)} \right) - \frac{\sigma}{R_i(t)} + p_{igaz} \\ -2\mu_0 \frac{\Phi}{R_i^2(t)} + \mu \left(\frac{\partial u_\phi}{\partial r} - \frac{u_\phi}{R_i(t)} \right) = 0 \end{cases}, \quad (2)$$

где σ - коэффициент поверхностного натяжения.

Поскольку, в силу условия несжимаемости жидкости, площадь кольца неизменна во времени, то справедливо равенство $\pi(R_1^2(t) - R_2^2(t)) = \pi(R_{10}^2 - R_{20}^2) = const$, с помощью которого можно перейти к новому набору переменных, в которых область интегрирования системы уравнений остается постоянной. Введем новые безразмерные переменные: $\xi(t) = R_{20}^{-2} R_2^2(t)$ - связана с описанием положения внутренней границы кольца, $\eta = -\xi + r^2 R_{20}^{-2}$ - связана с описанием положения точки внутри кольца и заметим, что в отличие от переменной r , изменение переменной η для любого момента времени находится в постоянных пределах $0 \leq \eta \leq a$, где $a = R_{20}^{-2} R_{10}^2 - 1$.

Для перехода к новым переменным в системе уравнений Навье-Стокса и используем следующие обозначения:

$$\begin{aligned} \Psi = v^{-1}\Phi, \omega = r^{-1}v^{-1}u_\phi R_{20}^2, \tau = R_{20}^{-2}vt, \delta_1 = 2R_{20}k_\sigma \sigma \rho^{-1}v^{-2}, \\ \delta_2 = 2R_{20}^2 \rho^{-1}v^{-2}, \varepsilon = v^{-1}v_0, \delta p_{gaz} = p_{2gaz} - p_{1gaz} \end{aligned} \quad (3)$$

где ν - обычная кинематическая вязкость; δ_1 - безразмерная комбинация величин, которую следуя Пухначеву В.В. [7] назовем параметром квазистационарности; $k_\sigma = 0;1$ - множитель, учитывающий наличие или отсутствие сил поверхностного натяжения; ε - мера неклассичности жидкости или следуя [3], мера несоосности девиатора тензора напряжений и девиатора тензора скоростей деформации. Поскольку система уравнений Навье-Стокса не содержит отдельного уравнения для определения поля давлений, то, для его исключения из процесса вычислений, первое уравнение было проинтегрировано по пространственной переменной η с последующим учетом явного вида тензора напряжений для границ подвижной области. После перехода к новым переменным система уравнений Навье-Стокса примет вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d\Psi}{d\tau} \ln\left(1 + \frac{a}{\xi}\right) - \frac{a(\Psi^2 - 4\Psi)}{\xi(a + \xi)} - \int_0^a \omega^2 d\eta - 4\varepsilon(\omega(a, \tau) - \omega(0, \tau)) = -\delta_1 \left(\frac{1}{\sqrt{\xi}} + \frac{1}{\sqrt{a + \xi}} \right) + \delta_2 \cdot \delta p_{gaz}; \\ \Psi(0) = \Psi_0 \\ \frac{d\xi(\tau)}{d\tau} = 2\Psi; \xi(0) = 1 \\ \frac{\partial\omega}{\partial\tau} + \frac{2\Psi\omega}{(\xi + \eta)} = 8 \frac{\partial\omega}{\partial\eta} + 4(\xi + \eta) \frac{\partial^2\omega}{\partial\eta^2}; \omega(\eta, 0) = \omega_0(\eta); \left(\frac{\partial\omega}{\partial\eta} + \frac{\varepsilon}{(\xi + \eta)^2} \Psi \right) \Big|_{\eta=0,a} = 0 \end{array} \right. \quad (4)$$

Следует заметить, что полученная система уравнений (4) с точностью до обозначений совпадает с таковой для случая отсутствия недиссипативной вязкости, изученной в работе Лаврентьевой О.М. [8].

Ввиду того, что для данной задачи на текущий момент не существует ни одного аналитического решения, а поведение объекта представляет интерес, то оно изучалось численно. Для этого было написано приложение «Ring v1.2», которое базируется на приложении «Ring v1.1» [5], основу которого составляет расчетная схема, использующая конечно-разностные аналоги рассматриваемых уравнений, без учета сил давления и сил поверхностного натяжения. Стоит отметить, что приложение «Ring v1.1» применялось для моделирования подобной задачи, и было протестировано на единственном известном аналитическом решении.

Вычислительные эксперименты позволили подтвердить наличие стационарных решений, предсказанных Лаврентьевой О.М. [8]. Также, в рамках рассматриваемой задачи (4) впервые были обнаружены не описанные ранее периодические режимы движения жидкого кольца, как в рамках классической модели ($\mu_0 = 0$), так и в рамках неклассической. Для иллюстрации наличия затухающих колебаний представлен фазовый портрет для функции ξ , связанной с внутренним радиусом жидкого кольца (рис. 1).

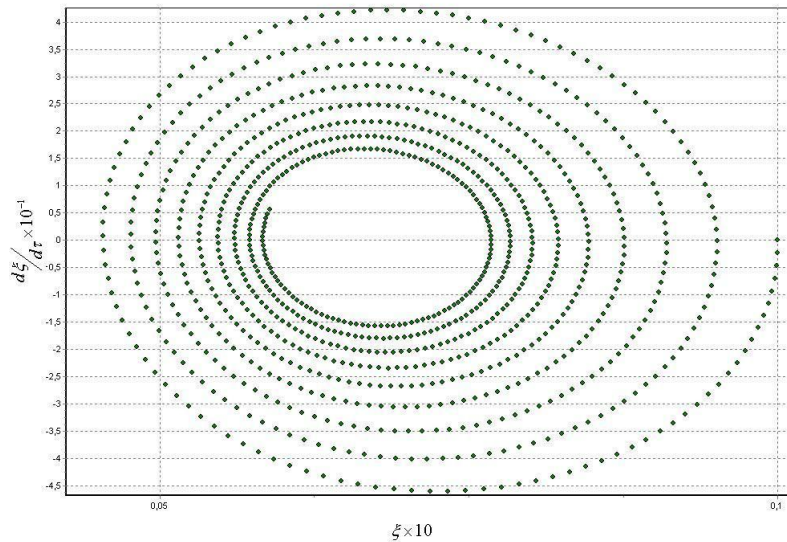


Рис. 1. Фазовый портрет для функции ξ , при $R_{10} = 10$ см., $R_{20} = 8$ см., $\nu = 10^{-4}$ м²/с, $\varepsilon = 0$, $\sigma = 7.28 \times 10^{-2}$ Н/м.

Колебания в кольце жидкости в рамках данной модели возникают из-за наличия противодействующих неуравновешенных сил, таких как сила поверхностного натяжения направленная внутрь кольца, сила давления газа внутри и вне полости (или его аналог центробежная сила, для вращающегося кольца).

Таким образом, в данной работе представлена математическая модель для описания динамики кольца обобщенной вязкой капиллярной жидкости, а так же предложен вариант описания механизма возникновения периодических движений жидкого кольца со свободными границами, обнаруженных в результате численного эксперимента, проведенного с помощью приложения «Ring v1.2».

Список литературы:

1. *Akhmetov, D. G.* Extinguishing gas and oil well fires by means of vortex rings. // *Combust. Explos. Shock Waves* – 1980. vol 16.
2. *Chahine, G. L., Genoux, P. F.*, Collapse of a cavitating vortex ring. // *J.Fluids Eny.* – 1983. vol 105:400-5
3. *Андреев В.К., Бублик В.В., Бытев В.О.*, Симметрии неклассических моделей гидродинамики. Новосибирск: изд-во «Наука», 2003 – 349 с.
4. *Аннин Б.Д., Бытев В.О., Сенашев С.И.* Групповые свойства уравнений упругости и пластичности. Новосибирск: изд-во «Наука», 1985 – 142 с.
5. *Бытев В.О., Гербер Е.А.* Динамика кольца двухвязкостной жидкости // *Вестник СамГУ*, 2010/4 (28) – с 37-45
6. *Пухначев В.В.* Движение вязкой жидкости со свободными границами. Учебное пособие. Новосибирск, 1989 - 96 с.
7. *Пухначев В.В.* Квазистационарное приближение в задаче о вращающемся кольце. // *Сибирский математический журнал*, Май-июнь, 2002, том 43, № 3, с.652-677
8. *Лаврентьева О.М.* Движение вращающегося кольца вязкой капиллярной жидкости. - М., 1984, 51 с. – Деп в ИГ СО АН СССР 19.11.84., № 7562

А.П. Исаев, Т.И. Искендерли, С.А. Каргин к.т.н.

Астраханский государственный технический университет,
кафедра «Судостроение и энергетические комплексы морской техники»
Россия, Астрахань
serjxxx@inbox.ru

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОЧЕГО ЦИКЛА ДВИГАТЕЛЯ С КОМБИНИРОВАННЫМ СМЕСЕОБРАЗОВАНИЕМ И ВОСПЛАМЕНЕНИЕМ ОТ СЖАТИЯ

Проведен анализ современных методов расчета показателей рабочего цикла ДВС позволяющий сделать вывод о том, что модель теплового расчета Гриневецкого-Мазинга в достаточной степени приближена к реальному процессу, протекающему в цилиндре двигателя и при инженерных расчетах дает неплохую точность результатов. Предложена методика расчета показателей рабочего цикла двигателя с комбинированным смесеобразованием и воспламенением от сжатия. Выявлены несоответствия между расчетными и экспериментальными данными для устранения которых необходимо проводить дополнительные экспериментальные исследования. Несоответствия вызваны тем, что модель расчета не учитывает особенностей рабочего процесса двигателя с комбинированным смесеобразованием.

Ключевые слова: ДВС, судовые дизели, рабочий процесс, комбинированное смесеобразование, воспламенение от сжатия, индикаторные диаграммы.

Проблема экономии природных ресурсов и экологической безопасности судовой энергетики становится все более острой. Постоянно ужесточающиеся требования к судовым двигателям в плане экономичности, экологической безопасности и энергетической эффективности заставляют двигателестроителей искать пути решения данных задач. Разработка новых конструкций двигателей – процесс трудо- и капиталоемкий. Использование в проектируемом двигателе большинства современных тенденций двигателестроения влечет за собой его удорожание. Для потребителя любой конкретной продукции важно соотношение «цена-качество». Качество двигателя определяется надежностью конструкции в целом и отдельных элементов и систем, адаптивностью двигателя к различным типам судов, экономичностью и энергетической эффективностью, что во многом определяется качеством протекающего в цилиндре двигателя рабочего процесса (РП). В этой связи является актуальной необходимость поисковых работ по совершенствованию организации РП ДВС, направленных на увеличение степени использования химической энергии топлива и тепловой энергии рабочего тела с целью повышения энергетической эффективности, экономичности и снижения степени загрязнения окружающей среды.

В исследовании РП ДВС явно выделяются два пути определения показателей рабочего цикла (РЦ): расчетно-аналитический и экспериментальный. Экспериментальный метод – это непосредственное индицирование цилиндров двигателей, расчетно-аналитический включает в себя последовательный расчет процессов (тактов), протекающих в цилиндре за РЦ, определение индикаторных и эффективных показателей, и в конечном итоге, после обработки расчетных данных строится теоретическая индикаторная диаграмма двигателя. В связи с этим, подтверждение работоспособности той или иной расчетной методики РЦ двигателя обеспечивается экспериментальным анализом, т.е. модель расчета должна отвечать большинству реалий, присущих действительному РП.

В ходе экспериментальных исследований, проведенных в лаборатории тепловых двигателей кафедры «Судостроение и энергетические комплексы морской техники» при Астраханском государственном техническом университете получен ряд экспериментальных индикаторных диаграмм судового дизеля 2Ч 9,5/11 при организации в них запатентованных способов организации РП (комбинированное смесеобразование с принудительным воспламенением [7] и с воспламенением от сжатия [8]). Для выявления достоинств и недостатков предложенных РП необходимо было произвести анализ полученных экспериментальных данных, заключающийся в расчетном определении показателей РЦ и дальнейшем сравнении полученных показателей с экспериментальными данными. Однако, в связи с тем, что эти РП предложены впервые, то каких либо методик расчета показателей этих процессов не существует.

Для анализа экспериментальных данных двигателя 2Ч 9,5/11 с комбинированным смесеобразованием и принудительным воспламенением была применена классическая методика Гриневецкого-Мазинга [9]. При расчете процесса сжатия выявились расхождения между расчетными и экспериментальными данными $\Delta p_c = 32,6 \%$. Согласно расчету давление в цилиндре в конце процесса сжатия $p_c = 4,26$ МПа, в то время как экспериментальное значение давления в цилиндре в конце процесса сжатия – $p_c^{\text{э}} = 3,213$ (МПа). Такое рассогласование между расчетными и экспериментальными данными происходит в связи с тем, что модель расчета Гриневецкого-Мазинга подразумевает такую идеализацию реального процесса, протекающего в цилиндре двигателя, как подвод теплоты (впрыск топлива) при нахождении поршня в верхней мертвой точке, то есть методика не учитывает опережение начала подачи топлива и задержку самовоспламенения (индукцию). С момента начала подачи топлива в цилиндр процесс сжатия не может рассматриваться как политропный с показателем n_1 , поскольку неизвестен закон изменения давления. Значит, политропный процесс с показателем n_1 сжатия свежего заряда протекает до момента впрыска топлива при некоторой действительной степени сжатия ε_0 . Таким образом, автор [9] предложил рассчитывать давление и температуру не в конце процесса сжатия, а в момент впрыска топлива и получил удовлетворительную сходимость расчетных и экспериментальных данных по значениям p_c .

В связи с тем, что произошли изменения в форме индикаторной диаграммы, процесс сгорания был разделен на две стадии: изохорное сгорание и смешанное сгорание. Данное разделение заставило комбинировать способы расчета процесса сгорания и использовать различные уравнения сгорания, получив при этом удовлетворительную сходимость расчетных и экспериментальных данных, что, в свою очередь, подтвердило правильность выбранного подхода.

В целом, автором [9] предложена вполне работоспособная методика расчета показателей РЦ двигателя с комбинированным смесеобразованием и принудительным воспламенением, которая является первым этапом в разработке методики расчета показателей РЦ двигателей с комбинированным смесеобразованием.

В связи с тем, что на двигатель установлена смесительная камера, которая создает некоторое сопротивление на впуске и цилиндр наполняется не воздухом, а топливовоздушной смесью, расчет процесса наполнения произведен по методике расчета для двигателей с внешним смесеобразованием, изложенной в [1] (методика Лебедева). Также, в связи с тем, что рассматриваемый двигатель является гибридом дизеля и двигателя с внешним смесеобразованием, для определения коэффициента остаточных газов применена методика, изложенная в [1] и примененная в [9], так как все рекомендуемые значения коэффициента остаточных газов γ_r , приводимые в литературных источниках относятся либо к дизелям, либо к двигателям с внешним смесеобразованием. При проверке полученных расчетных значений по формулам, применяемым в других методиках, получены следующие результаты: расхождение с основной методикой (Лебедева) по температуре к концу процесса наполнения составило – $\Delta T_a = 0,4 \%$; по коэффициенту наполнения $\Delta \eta_v = 0,59 \%$; по температуре к концу процесса наполнения $\Delta T_a = 0,61 \%$. Таким образом, можно сделать

вывод, что расхождение с другими методиками расчета на данном этапе не превышает 5 %.

Однако попытка применения методики из [9] для расчета процессов сжатия, сгорания и расширения в цикле двигателя с комбинированным смесеобразованием и воспламенением от сжатия оказалась неудачной. Это вызвано тем, что двигатель с комбинированным смесеобразованием и воспламенением от сжатия работал на режиме, более приближенном к номинальному, чем это было при испытаниях в [9]. Говорить точно о номинальном режиме работы нельзя, так как он для этих впервые предложенных двигателей неизвестен и нет возможности определить его аналитически. По внешним показателям работы двигателя с комбинированным смесеобразованием и воспламенением от сжатия можно было сделать вывод только о нормальной работе двигателя, так как он «держал» повышенную по сравнению с серийным дизелем нагрузку и его внешние показатели не выходили за пределы, считающимися нормальными для данного типа двигателей (температуры охлаждающей жидкости, масла и выпускных газов). При дальнейшем повышении нагрузки происходило повышение значений этих параметров выше эксплуатационных значений, однако двигатель работал устойчиво и мог бы «держаться» эту нагрузку, однако возникала опасность прогара выпускных клапанов либо их седел, не рассчитанных на данный температурный режим. Исходя из этого, сделано предположение о близости выбранного режима к номинальному для двигателя с комбинированным смесеобразованием и воспламенением от сжатия.

В частности, расчет процесса сжатия по классической методике Гриневецкого-Мазинга дал удовлетворительную сходимость, в то время, как расчет по методике, предложенной в [9], давал большую погрешность. Это в очередной раз доказало, что классическая методика Гриневецкого-Мазинга разработана для номинального режима работы двигателя и позволило отказаться от усложнения, связанного с определением действительной степени сжатия в момент впрыска топлива. Данный факт следует признать положительным, так как это делает предлагаемую методику более универсальной и не зависящей от конкретных экспериментальных данных.

Поскольку в двигателе с комбинированным смесеобразованием сжимается не воздух, а топливовоздушная смесь с коэффициентом избытка воздуха при наполнении α_H , то в расчете использована не средняя молярная изохорная теплоемкость воздуха, а средняя молярная изохорная теплоемкость смеси воздуха и паров дизельного топлива, определяемая аналогично [9]. Давление в цилиндре в конце сжатия составило $p_C = 3,56$ МПа, в то время как экспериментальное значение $p_C^{\text{э}} = 3,782$ МПа ($\Delta p_C = 5,6$ %).

Температура в конце сжатия составила $T_C = 906$ К. При снятии значения с экспериментальной установки температура в конце процесса сжатия $t_C = 350 \div 370$ °С. Температура t_C снимается путем прямого термометрирования при помощи микротермопары. Толщина хромелькапелевых электродов микротермопары составляет 15 мкм. В связи с этим термопара обладает малой инерционностью. Температура в конце процесса сжатия t_C измеряется без подачи топлива в цилиндр из-за риска сгорания термопары. В связи с этим, снятую с экспериментальной установки следует считать несколько заниженной, так как вихревая вставка в головке цилиндров, являющаяся теплоаккумулирующим телом, при работе цилиндра без подачи топлива имеет меньшую температуру. Таким образом, температуру в конце процесса сжатия следует считать равной $t_C = 360 \div 390$ °С ($T_C = 633 \div 663$ К). Этим подтверждается еще одно расхождение между методикой Гриневецкого-Мазинга и полученными экспериментальными данными, также отмеченное в [9], но не устраненное: не в полной мере учитывается теплоотдача от сжимаемого заряда к стенкам цилиндра, хотя и учитывается нагрев заряда от горячих стенок цилиндра величиной $\Delta T_a = 10 \div 20$ К. В начале сжатия температура заряда ниже температуры стенок цилиндра и теплоотдача происходит от стенок к заряду. При равенстве температур теплоотдачи не происходит (величина n_1 достигает значения $k = 1,4$ – процесс адиабатный). Далее, при продолжающемся сжатии, температура заряда растет, и градиент температур меняет свое направление. С уменьшением объема растет температурный напор, а значит, становится

интенсивней теплообмен между «горячим» зарядом и «холодными» стенками цилиндра. Таким образом, потери в стенки цилиндра снижают температуру сжимаемого заряда на $100 \div 120$ К. Это, вероятно, учитывается в модели Гриневецкого-Мазинга, но явно недостаточно. Это возможно связано с тем, что в то время, когда создавалась методика Гриневецкого-Мазинга дизели с вихрекамерным смесеобразованием еще не были предложены. Камера сгорания у таких дизелей имеет большую относительную поверхность охлаждения. Кроме того, цилиндры малоразмерных дизелей сами по себе имеют большую относительную поверхность охлаждения по сравнению с крупными дизелями. Это, видимо, приводит к большим потерям в систему охлаждения, то есть, к тому, что реальная температура в конце сжатия меньше, чем получается по расчету, так как методика Гриневецкого-Мазинга не учитывает этих факторов. Дальнейший расчет показал удовлетворительную сходимость, что подтверждает работоспособность методики предложенной в [9] и взятой за основу.

Таким образом, проведенный анализ современных методов расчета показателей РЦ ДВС позволяет сделать вывод о том, модель теплового расчета Гриневецкого-Мазинга в достаточной степени приближена к реальному процессу, протекающему в цилиндре двигателя и при инженерных расчетах дает неплохую точность результатов.

Однако при использовании данной модели для расчета показателей РЦ двигателя с комбинированным смесеобразованием при определении индикаторных и эффективных показателей выявляются значительные расхождения с экспериментальными данными. Это может быть вызвано тем, что модель расчета не учитывает особенностей РП двигателя с комбинированным смесеобразованием. Для устранения выявленных несоответствий необходимо проводить дополнительные экспериментальные исследования.

Список литературы:

1. Тареев В. М. Справочник по тепловому расчету рабочего процесса двигателей внутреннего сгорания. – М.: Речной транспорт, 1959. – 208 с., ил.
2. Двигатели внутреннего сгорания: Теория поршневых и комбинированных двигателей. Учеб. для втузов / Д. Н. Вырубов, Н. А. Иващенко, В. И. Ивин и др.: под ред. А. С. Орлина, М. Г. Круглова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1983. – 372 с., ил.
3. Судовые двигатели внутреннего сгорания: Учебник / Ю. Я. Фомин, А. И. Горбань, В. В. Добровольский, А. И. Лукин и др. – Л.: Судостроение, 1989. – 340 с., ил.
4. Дизели/ Справочник под ред. В.А. Ваншейдта. – М.: Машиностроение, 1973. – 432 с.
5. Барсуков С.И., Кнауб Л.В. Термодинамика и теплопередача. – Одесса: ОИСВ, 1993. – 393 с.
6. Моргулис Ю.Б. Двигатели внутреннего сгорания. Теория, конструкция и расчет. Изд. 2-е. – М.: Машиностроение, 1972. – 336 с.
7. Дорохов А. Ф., Алимов С. А., Каргин С. А. и др.). Способ работы двигателя внутреннего сгорания и устройство для его осуществления/ Патент РФ на изобретение № 2215882, 2003.
8. Дорохов А.Ф., Исаев А.П., Колосов К.К., Малютин Е.А. Способ работы двигателя внутреннего сгорания; устройство для осуществления комбинированного смесеобразования/ Патент РФ на изобретение № 2388916, 2010.
9. Каргин С.А. Теоретическое обоснование и экспериментальное исследование рабочего процесса судового ДВС с комбинированным смесеобразованием и принудительным воспламенением// Дис. канд. техн. наук. – Астрахань, 2006. – 162 с.

05.11.17.

В.В. Истомин, Т.В. Истомина д.т.н., А.В. Киреев к.т.н., А.И. Сафронов д.м.н.

Пензенская государственная технологическая академия,
Кафедра «Информационные технологии и менеджмент в медицинских и
биотехнических системах»
Россия, Пенза istom@mail.ru

ПРОГРАММНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМЫ ДИСТАНЦИОННОЙ МУЛЬТИДИАГНОСТИКИ И РЕАБИЛИТАЦИИ БОЛЬНЫХ ПОСЛЕ ЭНДОПРОТЕЗИРОВАНИЯ ТАЗОБЕДРЕННОГО СУСТАВА

Данная работа заключается в разработке программно-методического обеспечения дистанционной системы реабилитации больных после эндопротезирования суставов нижних конечностей на основе биомеханического мониторинга, осуществляемого через Интернет. Технология представляет собой практически значимую систему эффективных медицинских и технических решений, позволяющих проводить больному полноценную реабилитацию после эндопротезирования в домашних условиях.

Ключевые слова: эндопротезирование, мультидиагностика, реабилитация, стабилметрия, постурология.

Наличие у пациента доступного средства общения со своим лечащим врачом, а также возможность информировать врача объективными данными своего состояния - актуальная задача, решения которой ждут около 300 тысяч пациентов, ежегодно оперируемых по поводу замены пораженных суставов только в России.

В настоящее время операция эндопротезирования сустава является высокотехнологичным, точным и эффективным оперативным вмешательством, целью которого является вернуть пациенту безболезненный, подвижный сустав, позволяющий вернуться к привычной жизни, обрести утраченные функции.

Ежегодно в мире выполняется до 1 500 000 тотальных замещений тазобедренного сустава. По данным большинства авторов потребность в эндопротезировании ТБС составляет 27 на 10 000 жителей. На население Российской Федерации это составляет около 300 000 операций в год (выполняется чуть более 30 тысяч). В Пензенской области ежегодно выполняется около 120 операций (потребность - 4050). При этом необходимо учитывать и тот факт, что с постарением населения необходимость в проведении эндопротезирования в будущем значительно увеличится.

В силу ряда причин, большинство хирургических клиник, занимающихся эндопротезированием, не имеют возможности для проведения полноценных послеоперационных реабилитационных мероприятий в стационарных условиях. Как правило, больные вынуждены, как минимум, в течение года самостоятельно восстанавливать функцию проблемного сустава, руководствуясь лишь рекомендациями, данными лечащим врачом при выписке. Даже пациенты, восстановление которых происходит успешно, в течение полугода с момента проведенного эндопротезирования после самой операции нуждаются в регулярном наблюдении врача. Иначе результаты высокотехнологического и дорогостоящего оперативного вмешательства могут оказаться неудовлетворительными.

Учитывая, что к моменту операции у больного имеется длительно существующий комплекс костно-мышечной патологии, реабилитация больного, перенесшего операцию эндопротезирования, превращается в непростую задачу. При этом только своевременно начатая и настойчиво проводимая восстановительная терапия позволяет закрепить результаты операции, которая является лишь этапом длительного процесса лечения.

Целью работы является разработка программно-методического обеспечения системы дистанционной мультидиагностики и реабилитации больных после эндопротезирования

суставов нижних конечностей на основе биомеханического мониторинга, осуществляемого через Интернет. Макет данной системы представлен на рисунке 1.



Рис. 1 – Макет системы

Опыт дистанционного управления процессом реабилитации больных после эндопротезирования суставов нижних конечностей через Интернет отечественная ортопедия не располагает. В связи с этим данная работа проводится по двум направлениям - медицинскому и техническому. Основная идея базируется на объединении эффективных как в медицине, так и в технике методов для отработки практически значимой системы реабилитации больных после эндопротезирования.

Ниже приведены задачи, решаемые в рамках данной работы.

1. Создание медицинских методик и совершенствование технических средств мультидиагностики для контроля и управления процессом реабилитации больных, перенёсших протезирование тазобедренного сустава по результатам комплекса функциональных и постурологических исследований, основанных на методе стабилометрии [1].

2. Разработка прогностических моделей течения процесса реабилитации больных, перенёсших протезирование тазобедренного сустава на основе анализа комплекса физиологических параметров, получаемых в ходе электрокардиографических, электромиографических, электроэнцефалографических и стабилографических исследований.

3. Выявление наиболее значимых физиологических параметров и разработка новых методик контроля и управления процессом реабилитации для больных, перенёсших протезирование тазобедренного сустава.

4. Оценка эффективности разработанной методики на группе больных, перенёсших операцию по эндопротезированию тазобедренного сустава.

5. Обеспечение синхронизации записи физиологических сигналов [2].

6. Разработка и программная реализация алгоритмов обработки первичной измерительной информации с модулей системы мультидиагностики.

7. Программная реализация мультидиагностической методики для контроля процесса реабилитации у больных, перенёсших эндопротезирование.

8. Проектирование системы удалённого доступа к процессу мультидиагностики в режиме реального времени через локальную сеть и Internet.

9. Изготовление макета системы для дистанционной мультидиагностики и реабилитации послеоперационных больных с эндопротезами.

Программное обеспечение системы разрабатывается для IBM-совместимых ЭВМ для операционной системы Windows.

Основной программный модуль обеспечивает возможность проведения теста Ромберга;

теста с поворотом головы; оптокинетического теста; психологических тестов и специальных исследовательских тестов, разработанных по оригинальным методикам для пациентов, перенесших эндопротезирование. Кроме того, программное обеспечение выполняет функции хранения диагностической информации в базе данных пациентов и её передачи в режиме удаленного доступа.

Для реализации медицинских решений системы определяются анатомические [3], биомеханические [4] и социально-бытовые характеристики пациента, необходимые и достаточные для разработки совокупности индивидуальных последовательных реабилитационных мероприятий.

Для реализации технических решений системы определяется состав и основные характеристики программно-аппаратных комплексов больного и врача, а также структуру и функции каждого из этих компонентов в связи с медицинскими задачами разработанной технологии реабилитации больных после эндопротезирования.

Полностью сопоставимых по функциональным возможностям аналогов, в том числе зарубежных, не выявлено. В изделиях конкурентов отсутствует возможность удаленного доступа, а также не решена проблема синхронизации каналов мультидиагностики. Режимы диагностики и терапии большинства аналогов работают последовательно во времени, что приводит к потере важной диагностической информации.

В ходе выполнения проекта предполагается обеспечение подготовки персонала медицинских учреждений по работе с новыми диагностическими методиками, в том числе по работе с компьютерным стабелографическим оборудованием и специализированным ПМО.

Практическая значимость обусловлена устойчивым ростом потребности лечебно-профилактических и смежных учреждений Пензенской области в новых высокоинформативных неинвазивных методах медицинской диагностики. В рамках проекта дополнительно планируется широкое использование стабелографических методов для разработки методик диагностики постуральных расстройств [5], определения стрессовой устойчивости и профпригодности населения.

В результате выполнения данной работы будет создана научно обоснованная технология реабилитации больных после замены суставов нижних конечностей с использованием биомеханического мониторинга. Технология представляет собой систему медицинских и технических решений, позволяющих проводить больному полноценную реабилитацию после эндопротезирования в домашних условиях.

Список литературы:

1. Истомина Т.В., Ординарцева Н.П. Способы повышения достоверности результатов медицинской диагностики. - Известия ЮФУ. Технические науки. Тематический выпуск «Перспективы медицинского приборостроения», - Таганрог. Изд-во ТТИ ЮФИ, 2010 , №8 (109), - с. 85-91.
2. Истомина Т.В., Киреев А.В. , Истомина Е.В. Исследовательский комплекс для анализа электрических характеристик биообъекта на базе универсальной платы Advantech PCI-1710. - Известия ЮФУ. Технические науки. Тематический выпуск «Медицинские информационные системы» №5 (82). - Таганрог, 2008. - с. 61-64.
3. Истомина Т.В., Киреев А.В. Многопараметрическая система контроля параметров центральной и периферической гемодинамики. - Медицинская техника. - 2009. - №2 (254). - М., 2009. - с. 32-35.
4. Истомина Т.В., Киреев А.В. Оценка активности протекания гнойных плевритов по результатам анализа пассивных электрических свойств биопроб. - Медицинская техника. - М., 2009. - № 1. - с. 56-60.
5. Акжигитов Р.Ф. Перспективы применения комплекса «Стабилан» для тестирования спортсменов. - Известия ЮФУ. Технические науки. Тематический выпуск «Перспективы медицинского приборостроения», - Таганрог. Изд-во ТТИ ЮФИ, 2010 , №8 (109), - с. 68-73.

Р.В. Каргин к.т.н.

Шахтинский институт (филиал) ГОУ ВПО «Южно-Российский
государственный технический университет
(Новочеркасский политехнический институт)», факультет сервиса машин и оборудования,
кафедра «Сервис транспортных и технологических машин»,
Россия, Шахты
karro1@aanet.ru

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ КУЗОВНЫХ МУСОРОВОЗОВ

В работе приведены результаты анализа надежности и рабочих процессов кузовных мусоровозов. Выявлены технические и технологические особенности конструкций, снижающие эффективность их применения. Предложены варианты технических решений по совершенствованию конструкций кузовных мусоровозов, позволяющие повысить производительность, надежность и экологичность работы.

Ключевые слова: кузовной мусоровоз, манипулятор, захват, гидропривод.

Каждый населенный пункт, будь то небольшой поселок или же огромный мегаполис, живет своей жизнью. И при этом, чем больше населенный пункт, чем он густонаселеннее, тем сложнее организовать комфортные условия существования его жителям. Одним из актуальных вопросов является сбор, вывоз и утилизация твердых бытовых отходов (ТБО). Ведь технический прогресс способствовал не только повышению комфорта, но и одновременно увеличил интенсивность образования мусора и отходов. Одноразовая посуда, пластиковые пакеты, упаковки, пэт-бутылки и прочее – все это, конечно же, дешево и удобно для обывателя, однако приводит к возрастанию объемов отходов. Поэтому вопросы, связанные со сбором и вывозом ТБО, не теряют своей актуальности, а скорее наоборот, становятся все более насущными.

Возрастающие требования к качеству обслуживания населения, в том числе и области санитарной очистки территорий, обуславливает высокие требования к технике и оборудованию, применяемому при сборе и вывозе ТБО.

Наибольшее распространение в России в рамках традиционной технологии сбора и вывоза твердых бытовых отходов получили мусоровозы с механизированной боковой загрузкой кузова. В них имеют место потери ТБО из контейнера при загрузке кузова. Потери связаны с траекторией движения манипулятора: осуществив захват, манипулятор под действием гидроцилиндра подъема поворачивается в вертикальной плоскости на угол порядка 90^0 (стрела прижимается к кузову). Захват относительно стрелы своего положения не изменяет, поэтому контейнер в данной точке тоже наклонен относительно своего начального положения на угол в 90^0 (основание контейнера перпендикулярно поверхности площадки). В этот момент происходит просыпание ТБО из контейнера на кузов, кабину и территорию, прилегающую к зоне работы мусоровоза. Оператор имеет возможность регулировать угол наклона контейнера путем периодического вытягивания гидроцилиндра наклона по мере подъема стрелы. Это требует напряженной работы оператора, повышающей его утомляемость и удлиняющей время операции.

Повышение производительности процесса загрузки кузова за счет снижения потерь ТБО и сокращения времени цикла достигается изменением системы привода манипулятора таким образом, чтобы при изменении траектории движения контейнера его основание сохраняло параллельность относительно начального положения (уровня площадки) в течение всего цикла подъема [1].

Гидропривод манипулятора мусоровоза (рис. 1) имеет ряд устройств: бак Б, насос Н, гидроцилиндры подъема стрелы манипулятора Ц2 и наклона контейнера Ц1, гидрораспределители с ручным Р1, Р2 и гидравлическим Р3, Р4 управлением, предохранительный КП1 и напорный КП2 клапаны, регулируемые гидрозамки 31 и 32, дроссели Д1 и Д2, которые позволяют автоматизировать процесс подъема и опрокидывания контейнера. Автоматизация процесса основана на сливе рабочей жидкости (РЖ) из поршневой полости гидроцилиндра наклона контейнера в зависимости от наличия давления в напорной магистрали гидроцилиндра подъема манипулятора и нагрузки на гидроцилиндре наклона; а также на нагнетании РЖ в поршневую полость гидроцилиндра наклона контейнера при возникновении в напорной магистрали гидроцилиндра подъема манипулятора давления настройки предохранительного клапана (манипулятор в вертикальном положении, прижат к кузову).

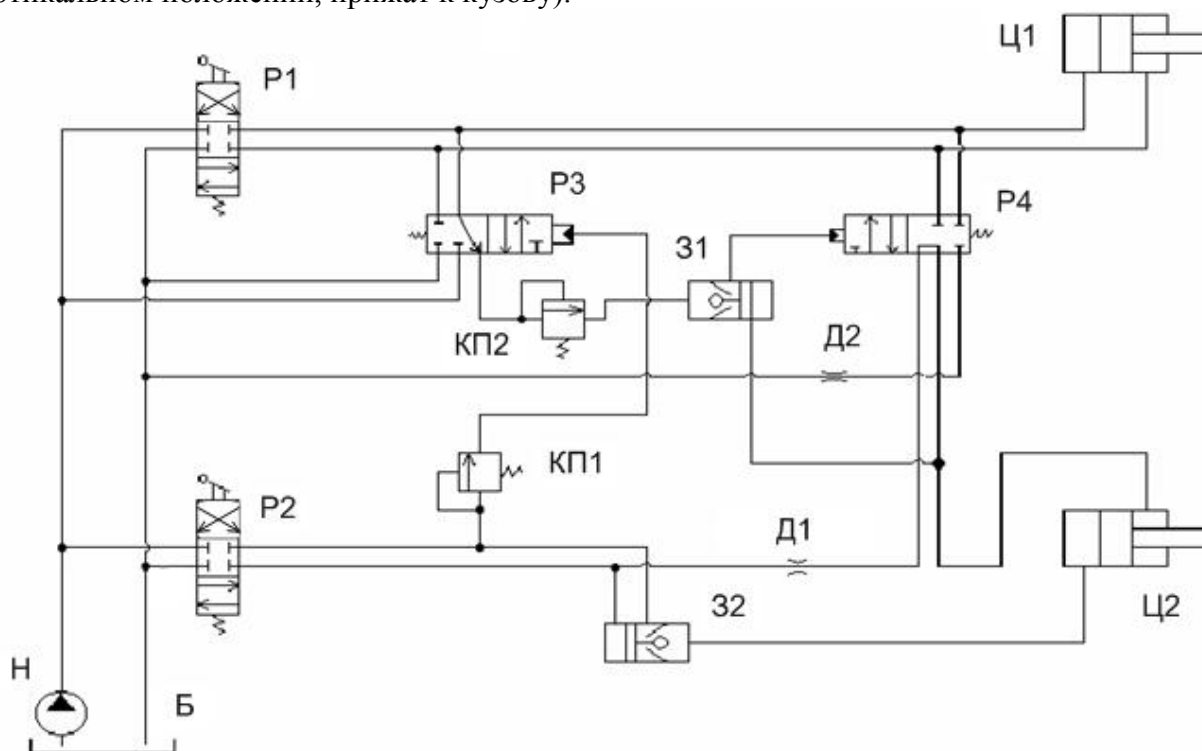
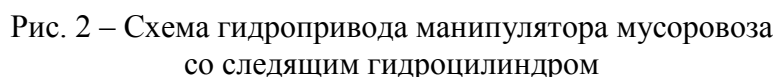


Рис. 1 – Автоматизированная схема гидропривода манипулятора мусоровоза

Автоматизация процесса загрузки ТБО в кузов мусоровоза позволяет сократить время главного процесса загрузки и вспомогательных (ручных) операций, повысить производительность путем снижения потерь ТБО, улучшить условия работы оператора и одновременно повысить экологичность процесса. Однако такая схема привода отличается сложностью, высокими требованиями к настройке напорных и предохранительных клапанов, возможность установления режима автоколебаний, что приводит к снижению надежности машины.

Повысить надежность мусоровоза без потери качества выполнения работ можно снижением общего количества элементов гидросистемы и добавлением следящего гидроцилиндра (рис. 2), расположенного в диагонали шарнирного четырехзвенника, свободные вершины которого закреплены на стреле и раме манипулятора [2].



Исследования надежности серийных кузовных мусоровозов [3] показали, что существенная доля отказов навесного оборудования (до 40 %) приходится на стрелу манипулятора, захват манипулятора и их привод. Это связано с тем, что автомобильное шасси является не жесткой системой, а распор мусоровоза в землю осуществляется только одной опорой, закрепленной на раме автомобиля со стороны установки манипулятора.

Все известные и запатентованные на сегодняшний день технические решения направлены на расширение области применения захватов манипулятора, но не повышают надежность его конструкции, так как остается неизменным принцип работы захвата с фиксацией контейнера только за один борт, что не снижает нагрузки на гидросистему и манипулятор, а также не устраняется колебательный характер работы в технологическом режиме.

118

прижим присоединен к штоку гидроцилиндра 6, прикрепленного к корпусу, и выполнен из жестко соединенных между собой стойки 5 и подхвата 4. Зажим контейнера между неподвижной губкой и Г-образным прижимом, который имеет возможность перемещения в вертикальной плоскости для опоры дна контейнера на подхват, осуществляется под действием упомянутого гидроцилиндра, установленного на оси Г-образного прижима. На этой же оси установлен шток гидроцилиндра 7, установленного на продольной балке и под действием которого осуществляется прижим подхвата к днищу контейнера.

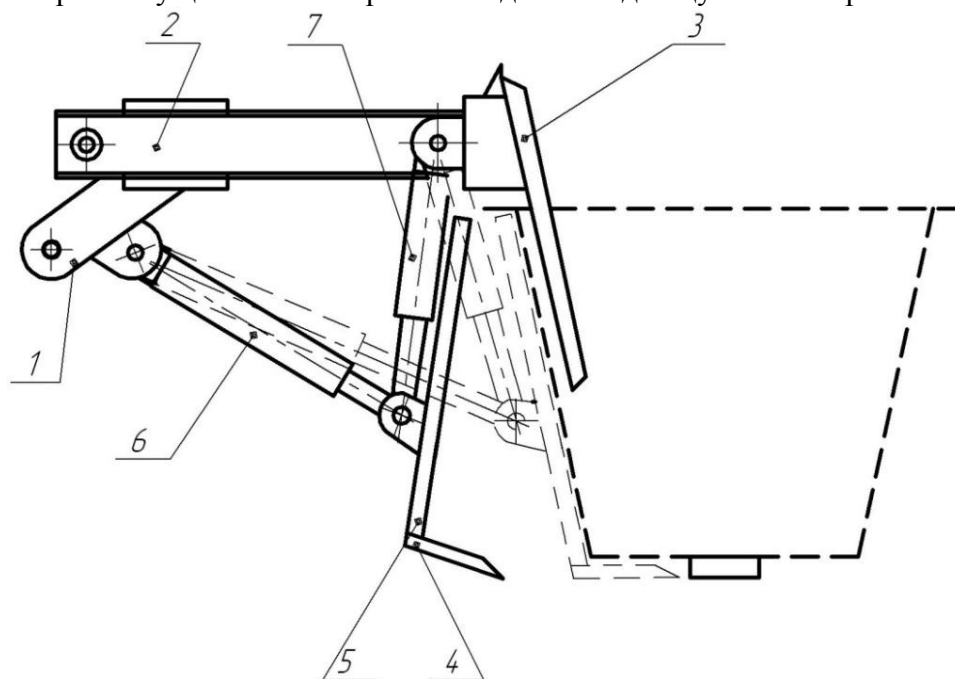


Рис. 3 – Конструкция захвата

С целью повышения надёжности мусоровоза предложено техническое решение, позволяющее уменьшить колебания в системе «автомобильное шасси – манипулятор» (рис. 4).

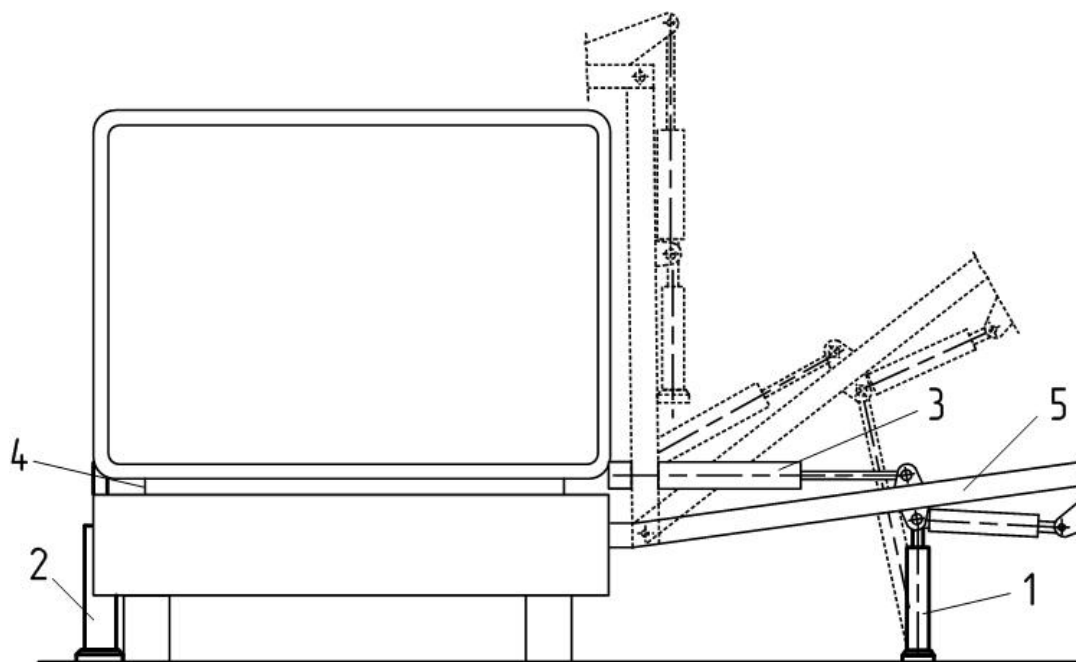


Рис. 4 – Мусоровоз кузовной

Указанная цель достигается тем, что распор мусоровоза в землю осуществляется двумя опорами. Для этого штатная опора 2 закрепляется на раме автомобиля 4 со стороны, противоположной установке манипулятора, а на стреле 5 манипулятора шарнирно устанавливается дополнительный гидроцилиндр 1, который осуществляет и распор мусоровоза в землю, и подъем стрелы манипулятора в момент отрыва контейнера от площадки.

Устройство работает следующим образом. Мусоровоз подъезжает к контейнеру на боковом расстоянии 1,6...2 м. Затем гидроцилиндром 3 стрела 5 опускается до момента захвата контейнера, а гидроцилиндр 1, за счет шарнирного крепления, принимает вертикальное положение. После этого начинается выдвижение штоков гидроцилиндра 1 и опоры 2 до распора в землю. При дальнейшем выдвижении штока гидроцилиндра 1 происходит подъем стрелы манипулятора. При полном выдвижении штока гидроцилиндра 1 включается в работу гидроцилиндр 3, который поднимает стрелу до положения разгрузки контейнера, и в этот момент происходит задвижение штока гидроцилиндра 1. Опора 2 складывается после загрузки всех контейнеров на площадке с одной установки мусоровоза.

Список литературы:

1. Патент RU 2278067 C1 МПК В65 F3/06. Мусоровоз кузовной закрытого типа / *А.С.Носенко, В.П.Тулупов, Р.В.Каргин, А.А.Домницкий*. – Заявл. 22.11.2004. Оpubл. 20.06.2006, Бюл. № 17.
2. Патент RU 2357910 C2 МПК В65 F3/06. Мусоровоз кузовной закрытого типа / *А.С.Носенко, Р.В.Каргин, В.И.Жигульский, А.А.Домницкий*. – Заявл. 18.04.2007. Оpubл. 10.06.2009, Бюл. № 16.
3. Закономерность формирования межремонтных ресурсов мусоровозов с учетом режимов эксплуатации / *А.С.Носенко, Р.В.Каргин, Е.А.Шемиура, М.С.Алтунина* // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2010. - № 5. – С. 89-94.
4. Конструкции и рабочие процессы манипуляторов кузовных мусоровозов / *Р.В.Каргин, О.С.Мирошниченко* // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2010. - № 6. – С. 75-78.
5. Патент RU 2400417 C1 МПК В65 F3/04. Захват устройства для разгрузки контейнеров в кузов мусоровоза / *А.С.Носенко, Р.В.Каргин, М.С.Алтунина, О.С.Мирошниченко*. – Заявл. 10.03.2009. Оpubл. 27.09.2010, Бюл. № 27.

05.13.18.

А.Н. Кролевец к.ф.-м. н.

Дальневосточный государственный технический университет в
г. Петропавловске-Камчатском, Россия

А.М. Макеев

Камчатский государственный университет имени Витуса Беринга, кафедра прикладной
математики, Россия, Петропавловск-Камчатский
an@kamgpu.ru

ПРОГРАММА ПОИСКА ПЛОСКОСТЕЙ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ГРУППИРОВАНИЯ ГИПОЦЕНТРОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

К настоящему времени предложен ряд моделей структурного строения среды, в которых среда состоит из блоков с плоскими границами, которые можно трактовать как разломы. Разломы геофизической среды могут выявляться по группированию гипоцентров землетрясений. В работе представлена компьютерная программа, позволяющая осуществлять поиск плоскостей, с использованием каталогов землетрясений.

Ключевые слова: плоскости, группирование, гипоцентры, сейсмопрогноз, моделирование.

ВВЕДЕНИЕ

Особенности пространственного распределения гипоцентров землетрясений могут оказаться ключом к построению адекватной модели геофизической среды, кроме того их можно использовать и для прогноза мест будущих землетрясений, в частности при составлении карт сейсмического районирования. Поэтому таким особенностям посвящено множество работ. [1 – 4]

В работе [5] показано, что гипоцентр сильнейшего Кроноцкого землетрясения 5 декабря 1997 г. и пятнадцати сильнейших афтершоков попадают всего на четыре плоскости с отклонениями, не превышающими 3 км. Вероятность случайного попадания составляет не более 10^{-4} . Эти исследования, указывают на то, что плоскости-разломы действительно существовали, по крайней мере, десятки месяцев после Кроноцкого землетрясения. Поиск плоскостей в работе [5] выполнялся «вручную». Эффективной компьютерной программы для выполнения такого поиска не существовало. В данной работе описан основной алгоритм исполнения программы поиска плоскостей группирования гипоцентров, а также представлены примеры результатов её работы.

Входящие параметры поиска. До начала поиска следует ввести данные каталога землетрясений и параметры-критерии поиска. Обработываемые программой записи из каталога включают, декартовы координаты гипоцентров и номера записей. К параметрам-критериям поиска относятся:

- D - допустимый разброс значений d_{ji} ;
- M - минимальное число гипоцентров с расстояниями d_{ji} , отличающимися не более чем на D , при выявлении которых группировку можно считать обнаруженной;
- β - максимально допустимый шаг угла дискретизации ориентации векторов нормали.

При реализации вычислений параллельными потоками должны быть также предусмотрены критерии, по которым определяется возможность объединения плоскостей, найденных в соседних областях. В нашем случае это:

- $\Delta\gamma$ - максимально допустимая величина угла между нормальными объединяемых плоскостей соседних областей;

- ΔD - максимально допустимое отличие значений расстояний от начала координат до каждой из плоскостей.
- Параметры разбиения области поиска (и всего каталога) на подобласти (подкаталоги).

Алгоритм поиска. Каталог землетрясений разбивается на подкаталоги для подобластей, отобранных по географическому принципу, и покрывающих всю область поиска. Для каждой из подобластей создается класс потока, который содержит в оперативной памяти динамический список параметров гипоцентров подобласти.

В рамках каждого из потоков для подобласти начинается перебор всех возможных ориентаций $\mathbf{n}_j$ единичных векторов нормали с дискретным шагом. Это осуществляется с помощью вложенных циклов. Во внешнем цикле производится движение вектора нормали от близкой к вертикальной ориентации ($\theta = \alpha$) по направлению к плоскости Oxy с шагом $\delta\theta \leq \beta$ до значения $\theta = \pi/2$.

Во вложенном цикле конец вектора нормали $\mathbf{n}_j$ вращается горизонтально с постоянным дискретным шагом. Число разбиений s_β определяется так: длина окружности постоянного θ на единичной сфере, равная $2\pi\sin(\theta)$ делится на $\delta\theta$. Полученное число округляется в большую сторону до ближайшего целого и полагается равным s_β . Шаг по азимутальному углу $\delta\beta = 2\pi\sin(\theta)/s_\beta$. В результате, концы всех возможных векторов нормали достаточно равномерно заполняют верхнюю единичную полусферу.

Во внутреннем цикле для очередной ориентации $\mathbf{n}_j$ осуществляется поиск плоскостей группирования гипоцентров. Вычисляются проекции $d_{ji} = \mathbf{n}_j \cdot \mathbf{r}_i$ радиус-векторов $\mathbf{r}_i$, проведенных ко всем гипоцентрам подобласти. Далее, создается связанный динамический список *slist*. Записями в нём служат полученные значения проекций d_{ji} , номера гипоцентров по каталогу землетрясений и указатели на адреса ячеек памяти следующих записей. Список заполняется с одновременной сортировкой по возрастанию значений d , всего k элементами, по числу записей подкаталога.

Работа с полученным списком заключается в следующем: для всевозможных p' вычисляются разности $\Delta d(p', M) = |d_{j, (M+p'-1)} - d_{jp}|$. Здесь штрихи означают, что индекс p' соответствует не номеру записи по подкаталогу, а номеру в отсортированном списке. Определяются номера p' , для которых выполняются неравенства $\Delta d(p', M) \leq D$. Каждому такому номеру p' соответствует группа из M гипоцентров, имеющая близкие в пределах D значения проекций на направление $\mathbf{n}_j$, то есть лежащих на одной плоскости. Далее, для каждой такой группы на принадлежность к плоскости последовательно тестируются гипоцентры, записи о которых оказываются соседними в списке. Им соответствуют ближайшие, но большие значения d . Заново проверяется выполнение неравенств $\Delta d(p', M+t) \leq D$, при $t=1, 2, \dots, (k-M)$.

В итоге, для фиксированного значения $\mathbf{n}_j$ будет получен набор из групп номеров гипоцентров, оказывающихся на плоскостях одинаковых ориентаций, но на разных расстояниях от начала координат. Некоторые из групп могут частично перекрываться, однако их объединение невозможно, так как при этом разности расстояний между крайними элементами объединенной группы оказываются превышающими D . В таких случаях из частично перекрывающихся групп должна быть отобрана лишь одна, с максимальным числом элементов.

Для каждой новой ориентации вектора нормали список *slist* составляется заново и описанная процедура поиска групп с максимальным числом элементов повторяется.

Каждой найденной группе ставится в соответствие пространственная плоскость, имеющая вектор нормали $\mathbf{n}_j$, расположенная на расстоянии d_{cp} от начала координат. В созданном ранее динамическом списке *rfound* сохраняются параметры d_{cp} , $\mathbf{n}_j$ и список гипоцентров, выявляющих плоскость.

Далее, множества гипоцентров, выявляющих плоскость, проходят проверку на совпадения или принадлежность какому-нибудь из множеств, найденных ранее при других,

близких ориентациях вектора $\mathbf{n}$. В случае принадлежности исключаются множества включающие меньшее число гипоцентров, а при совпадениях исключаются множества, найденные последними. Тем самым исключаются возможные повторы. По каждому из множеств гипоцентров, идентифицирующих плоскость, строился выпуклый многоугольник с вершинами в точках гипоцентров, включающий все гипоцентры множества. Далее вычислялась площадь S многоугольника, как сумма площадей смежных треугольников с вершинами в точках гипоцентров периметра.

После завершения цикла выявления множеств гипоцентров, идентифицирующих плоскости для всех $\mathbf{n}_j$ и параллельных вычислений во всех географически разделенных подобластях, выявляются плоскости с близкими в рамках критериев $\Delta\gamma$ и ΔD параметрами $\mathbf{n}$, d_{cp} в смежных подобластях. Для исключения возможности идентификации случайного группирования гипоцентров с реально существующей плоскостью необходимо определить - имеет ли плоскость продолжение, ещё хотя бы в одной из смежных подобластей. В случае если плоскость имеет продолжение, то она считается найденной. Далее определяются параметры объединенных плоскостей. К таким параметрам относятся:

- вектор нормали $\mathbf{n}$ и d_{cp} для объединённой плоскости;
- список гипоцентров идентифицирующих плоскость в объединенных подобластях;
- площадь выпуклого многогранника с вершинами на объединённой плоскости;
- угол падения и угол простираения плоскости.

Тестирование программы поиска на Камчатской сейсмоактивной зоне. По описанному алгоритму составлена компьютерная программа на языке Object Pascal, в среде программирования Delphi 10. Программа тестировалась с использованием регионального каталога землетрясений Камчатского филиала Геофизической службы РАН. Для вычислений декартовых координат гипоцентров, начало координатной системы помещалось в точку на поверхности Земли с географическими координатами $\lambda_0=162^\circ\text{E}$ и $\varphi_0=53.956^\circ\text{N}$.

Из каталога отбирались землетрясения, произошедшие с 1.01.1962 по 1.09.2004, координаты эпицентров которых попадают в диапазоны по широте $46.9^\circ\text{N} < \varphi < 61.8^\circ\text{N}$, долготе $148.5^\circ\text{E} < \lambda < 171.1^\circ\text{E}$, энергетического класса $K \geq 9$. Всего было отобрано около 27 000 событий. Для поиска были выбраны следующие критерии: $D = 3$ км, $M = 50$, $\beta = 3^\circ$, $\Delta\gamma = 1^\circ$, $\Delta D = 1$ км.

В результате работы программы были найдены 275 плоскостей. Параметры 10-ти из них, имеющих максимальную площадь, представлены ниже в таблице, в порядке убывания площади.

Таблица - Параметры найденных плоскостей

№	Полное количество гипоцентров на плоскости	Количество гипоцентров на плоскости с энергетическим классом выше 13	S (тыс. кв.км)	Угол падения DP	Угол простира ния STK
1	228	5	32.3	55	310
2	348	3	22.0	43	305
3	233	3	21.9	28	141
4	306	3	20.3	28	102
5	395	4	18.4	79	304
6	141	3	15.7	76	124
7	117	3	14.9	70	354
8	174	3	14.8	34	310
9	250	3	14.5	85	291
10	303	4	14.3	40	109

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе описан алгоритм поиска плоскостей пространственного группирования гипоцентров землетрясений. Компьютерная программа, реализующая описанный алгоритм, тестировалась с использованием каталога землетрясений Камчатской сейсмоактивной зоны. Найдено 275 плоскостей. Представлены параметры десяти крупнейших из найденных плоскостей: углы падения, простирания, площади и др. Алгоритм и реализующая его программа продемонстрировали свою работоспособность. Описанный в работе алгоритм может быть использован для анализа пространственной структуры и других сейсмоактивных зон, а результаты - для уточнений долгосрочного сейсмопрогноза.

Список литературы:

1. Викулин А.В. Физика волнового сейсмического процесса. Петропавловск-Камчатский: КГПУ, 2003. 151 с.
2. Гордеев Е.И., Чебров В.Н., Левина В.И., Синицын В.И., Шевченко Ю.В., Яцук В.В. Система сейсмологических наблюдений // Комплексные сейсмологические и геофизические исследования Камчатки. Петропавловск – Камчатский, 2004. С. 11 – 42.
3. Кейлис-Борок В.И., Габриэлов А.М., Левшина Т.А., Шапошников В.А. Блоковая модель динамики литосферы // Вычислительная сейсмология. 1986. Вып. 192. С. 168 – 178.
4. Кролевец А.Н. Иерархическая модель активной геофизической среды // Вулканология и сейсмология. 2003. №6. С. 71-80.
5. Кролевец А.Н. Плоскости разломов Кроноцкого землетрясения 5 декабря 1997 г. // Геофизический мониторинг Камчатки. Материалы научно-технической конференции 17 – 18 января 2006 г. Оттиск, 2006. С. 32– 39.

«Национальный исследовательский Томский политехнический университет»,
Энергетический институт, кафедра теоретической и промышленной теплотехники,
Россия, Томск, marisha@tpu.ru

ЗАВИСИМОСТЬ СОСТАВА ПРОДУКТОВ ПИРОЛИЗА ДРЕВЕСНОЙ БИОМАССЫ ОТ РЕЖИМА ТЕПЛОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Представлены результаты экспериментального исследования процессов термического разложения четырех типов древесной биомассы (липы, акации, эвкалипта и сосны). Они были выбраны как типичное сырье возобновляемых источников энергии и нагревались в специальном реакторе с неподвижным слоем. Цель исследований – изучение влияния температуры пиролиза на процесс получения газообразных, жидких и твердых продуктов процесса пиролиза.

Ключевые слова: биомасса, пиролиз, термическая обработка, реактор, продукты пиролиза.

Одним из наиболее перспективных и реальных вариантов развития на территории России индустрии возобновляемых источников энергии является лесная биоэнергетика [1]. Возможны несколько вариантов использования биомассы (в первую очередь лесной) как для непосредственной выработки электрической и тепловой энергии, так и для производства биотоплива (жидкого или газообразного). Но все варианты возможного использования биомассы включают циклы термической обработки сырья (например, древесины) при достаточно высоких температурах (сушка, пиролиз, газификация др.). Такая обработка приводит к конверсии биомассы в соответствующем технологическом цикле. При этом образуются газообразные, жидкие и твердые продукты, которые в дальнейшем могут использоваться по своему назначению. Разработка технологий такого рода возможна только на базе адекватных представлений об основных закономерностях процессов физико-химических превращений древесины при нагреве до достаточно высоких (до 600°C) температур. При этом наиболее значимой является информация об изменении с ростом температуры доли летучих и жидких продуктов термической обработки биомассы. Но до настоящего времени нет таких экспериментальных данных даже по наиболее типичным и распространенным сортам древесины. Поэтому целью данной работы является экспериментальное изучение основных закономерностей термического разложения четырех типичных сортов древесины.

Исследовались три лигноцеллюлозные материала (древесная биомасса): липа, акация, эвкалипт (провинция Нонхай, Тайланд), а также сосна (Томская область, Россия). Образцы древесины разрезались на маленькие кусочки (характерные размеры 1 – 5 мм длиной и менее чем 0,5 мм толщиной) с целью минимизации сопротивления тепло и массопереносу внутри частицы, затем высушивались в печи в течении 3 часов при 110°C с целью удаления влаги. При проведении опытов регистрировалось изменение веса образцов при различных температурах. Все эксперименты включали три основных этапа: сушка, удаление летучих в нейтральной среде, сжигание в кислороде. Непосредственный анализ свежего сырья был проведен согласно тестовым методам Американской Ассоциации Тестирования и Материалов (ASTM) [2-4].

Экспериментальная установка представляла собой комплекс на базе реактора для атмосферного пиролиза (реактор, конденсатор, конденсатосборник и источник гелия). Размер реактора был 40 мм в диаметре. Нагрев осуществлялся электронагревателем. Гелий подводился с целью замещения воздуха в реакторе для поддержания нейтральной среды

внутри реактора. Максимальная емкость загрузки сосуда реактора составляла 20 г образцов древесной биомассы. Конденсатор имел форму спиралевидной трубы, вода при температуре 10⁰С использовалась как охлаждающая жидкость. Эксперименты проведены при температурах пиролиза от 250 до 600⁰С при постоянном темпе нагрева 50⁰С/мин. Температура внутри реактора контролировалась термopарами. Каждый эксперимент продолжался по 3 часа с целью полного завершения пиролиза образца и охлаждения реактора до комнатной температуры.

Образцы свежего сырья весом до 20 г помещались в специальный лоток и затем в реактор. Перед экспериментом из системы удалялся воздух путем ввода гелия в течение 5 минут при расходе 2 л/мин. Образец затем нагревался до заданной температуры. В процесс нагрева, система была установлена на давление незначительно превышающее атмосферное. Эксперименты проводились при различных температурах пиролиза и выбранного сырья. Пиролизный газ собирался в контейнер с водой. Объем воды измерялся, затем определялся объем газа. Жидкие продукты собирались на точке сбора жидкости. Вес различных полученных продуктов определялся взвешиванием твердого остатка (уголь) и расчетом разницы собранной жидкости и выделенного газа. Определялась доля каждой компоненты от веса исходного сырья и как функция температуры пиролиза. С целью обоснования достоверности результатов измерения все эксперименты трижды повторялись при фиксированной температуре. Определялись средние значения и среднеквадратические отклонения.

Ранее [5,6,7] установлено, что при температуре ниже 260⁰С имеет место только обугливание древесных материалов. Деполимеризация обычно протекает в диапазоне от 270⁰С до 400⁰С. Гемиллюлоза быстро преобразуется в метанол и уксусную кислоту между 200-280⁰С. При температурах от 200 до 500⁰С целлюлоза термически разлагается, причем максимум скорости деструкции достигается при 320⁰С. Лигнин разлагается только при температуре свыше 280⁰С, формируя в основном смолу и сухой остаток [5, 6, 7].

Результаты проведенных экспериментов приведены на рис. 1-4. Установлены доли твердого остатка, жидкости и газа при различных температурах. Разложение образцов биомассы начиналось при относительно низкой температуре ≈ 250⁰С. Выход жидкости при этом небольшой. При повышении температуры пиролиза выход жидкости увеличивается до достижения максимума при 450 – 600⁰С (в зависимости от типа древесины). При температуре ниже 400⁰С выход жидкости несколько уменьшается возможно из-за реакций коксования масла (при превращении жидкого масла в твердые продукты) [8]. Максимум выхода жидкости достигался при температуре 450-600⁰С при среднем темпе нагрева 50⁰С/мин. С ростом температуры имело место последовательное увеличение выхода газа от 300⁰С до 500⁰С.

Рост выхода газа сопровождался уменьшением твердого остатка (в диапазоне 550-600⁰С). Выход газа варьировался от 8% до 30% для акации, от 13% до 26,5% для эвкалипта, от 18% до 33,5% для липы и от 10,5% до 27% для сосны, тогда как выход жидкости варьировался от 12% до 49% для всех пород в пределах изучаемого диапазона температур 250⁰С – 600⁰С.

Проводя обобщение результатов выполненных экспериментальных исследований для четырех достаточно типичных представителей биомассы можно сделать следующие основные выводы.

1. В диапазоне изменения температур от 250⁰С до 600⁰С выход угля в процессе пиролиза исследованных материалов уменьшается от 80% (при ~ 250⁰С) до 25% (при ~ 600⁰С). Отклонения по типам древесины при этом не превышают 3-5%.
2. С ростом температуры в этом диапазоне изменения выход жидких продуктов (водяная и масляная компоненты) увеличивается почти в пять раз. Максимальный выход жидких компонентов у сосны и эвкалипта, минимальный у липы.

3. Выход газов при изменении температуры от 250⁰С до 600⁰С увеличивается почти в 2 раза. Максимальный выход у липы.

Список литературы:

1. Головков С.И., Коперин И.Ф., Найдёнов В.И., Энергетическое использование древесных отходов, -М.: Лесная промышленность, 1987г., 224с.
2. ASTM Standards, mil. Standard Test Methods for Analysis of Wood Fuel. American Society for Testing and Materials, U.S.A., 1986.
3. ASTM Standards, E872. Standard Test Methods for Analysis of Wood Fuel. American Society for Testing and Materials, U.S.A., 1986.
4. ASTM Standards, D1102. Standard Test Methods for Analysis of Wood Fuel. American Society for Testing and Materials, U.S.A., 1986.
5. Muller-Hagedora, M. and Bockorn, H., Pyrolytic behavior of different biomasses (angiosperms) (maize plants, straws and wood) in low temperature pyrolysis, J. Anal. Appl. Pyrolysis, 2007, 79: 136-146.
6. Park, H.J., Pyrolysis characteristics of Oriental white oak: Kinetic study and fast pyrolysis in a fluidized bed with an improved reaction system, Fuel Process. Technol.(2008) doi: 10.1016/j.fupro.2008.08.017
7. Saravana Sampath, S. and Babu, B.V., Energy and Useful Products from Waste Using Pyrolysis: A State-of-the-Art Review, Session: Energy Engineering, New Delhi, India, 2005, [online] available: <http://discoverv.bits-pilani.ac.in/~bvbabu/PvrSB CC 2005.pdf>
8. Peters, B. and Bruch, C, Drying and pyrolysis of wood particles: experiments and simulation, J. Anal. Appl. Pyrolysis, 2003, 70: 233-250.
9. Rajvanshi, F. K., Biomass Gasification, Alternative Energy in Agriculture, Vol.2(83-102), [online] available: <http://nariphaltan.virtualave.net/Gasifier.pdf>

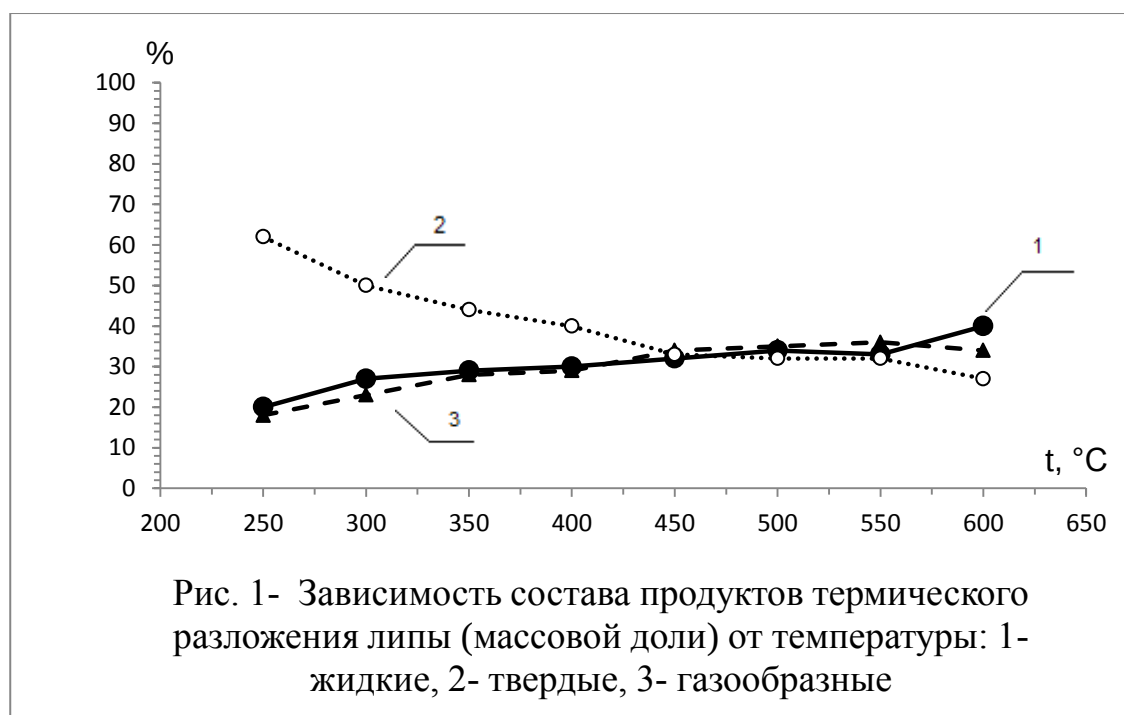


Рис. 1- Зависимость состава продуктов термического разложения липы (массовой доли) от температуры: 1- жидкие, 2- твердые, 3- газообразные

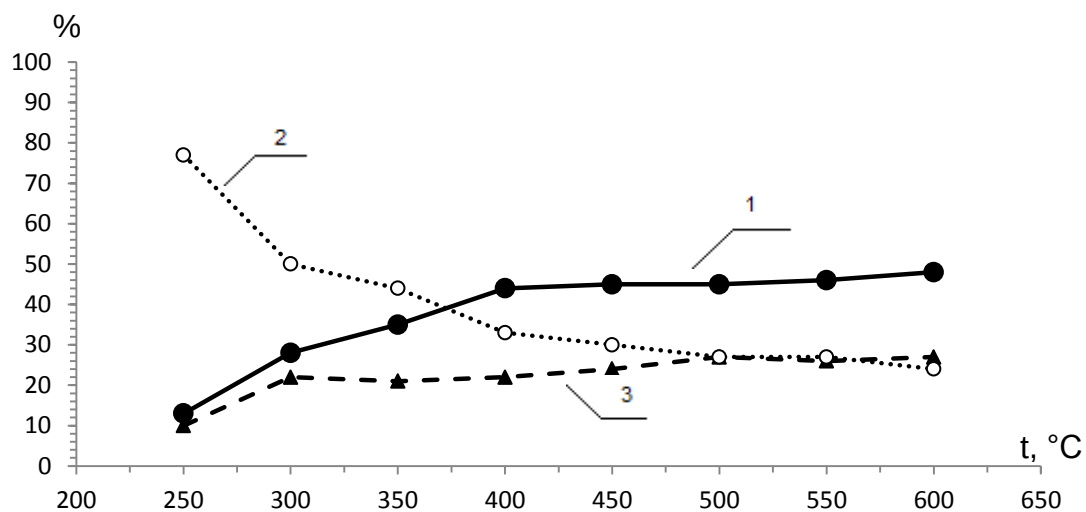


Рис. 2- Зависимость состава продуктов термического разложения акации (массовой доли) от температуры: 1- жидкие, 2- твердые, 3- газообразные

№2 9X15

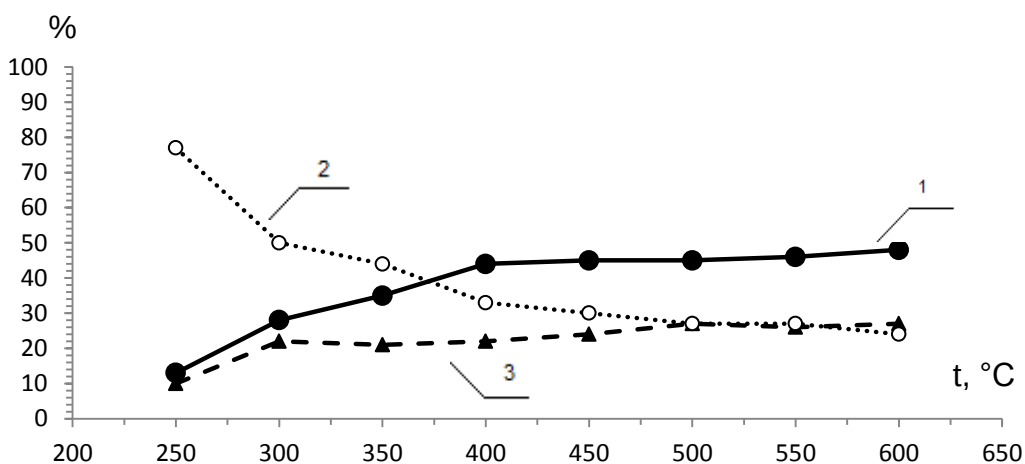
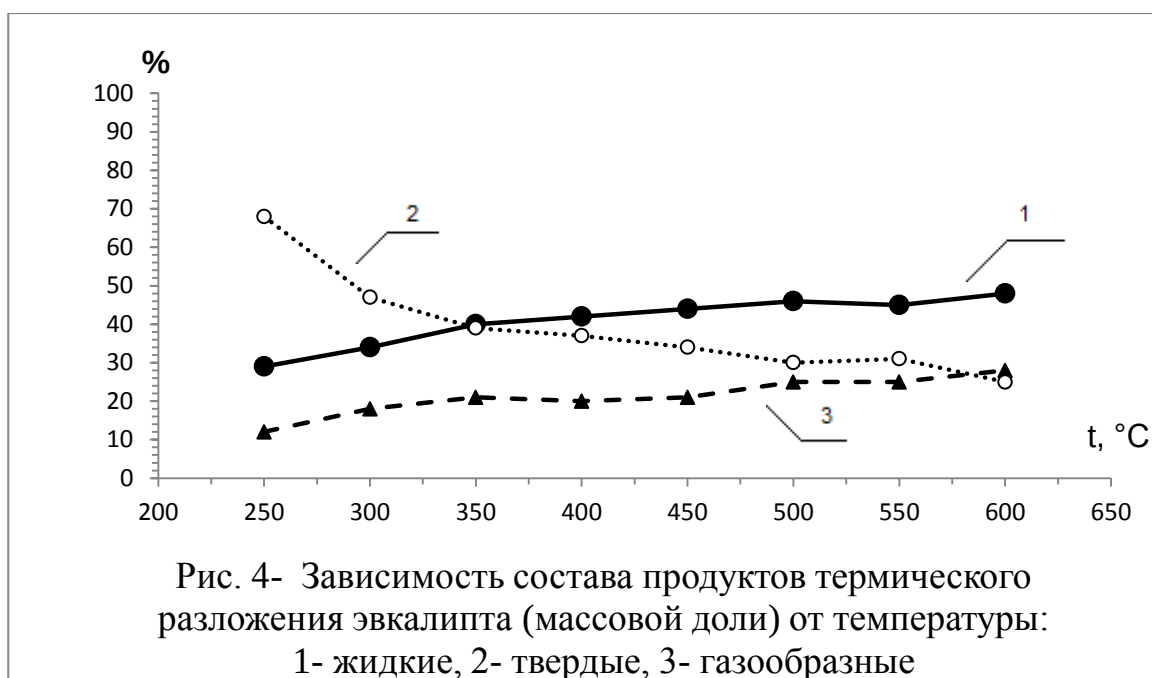


Рис. 3- Зависимость состава продуктов термического разложения сосны (массовой доли) от температуры: 1- жидкие, 2- твердые, 3- газообразные

№3 9X15



№4 9X15

05.13.18.

А.П. Левашов, В.М. Шишкин д.т.н.

Вятский государственный университет,
факультет строительства и архитектуры, кафедра теоретической и строительной механики,
Россия, Киров
tism1@rambler.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАССЕЯНИЯ ЭНЕРГИИ В ВОЛОКНИСТОМ КОМПОЗИЦИОННОМ МАТЕРИАЛЕ ПРИ РЕЗОНАНСНЫХ КОЛЕБАНИЯХ КОНСТРУКЦИЙ

В работе построен комплексный гистерезисный оператор для учета рассеяния энергии при резонансных колебаниях конструкций из многослойных композиционных материалов, армированных однонаправленными волокнами. Проведена апробация данного оператора на примере определения резонансной динамической реакции композитного стержня. Разработан итерационный алгоритм решения системы разрешающих уравнений для учета амплитудно-зависимого рассеяния энергии в материале.

Ключевые слова: композиционный материал, демпфирование, резонанс, конечный элемент.

Среди номенклатуры композиционных материалов для изготовления силовых элементов конструкций наибольшее применение имеют многослойные материалы, армированные однонаправленными непрерывными или дискретными волокнами. Композитные слои укладываются в пакет под различными углами. Такие материалы кроме высокой удельной прочности и жесткости имеют еще и весьма высокую демпфирующую способность, что позволяет значительно снизить виброактивность и динамическую напряженность элементов конструкции за счет рассеяния энергии в самом ее материале. Особенно это относится к резонансным колебаниям, при которых амплитуды напряжений могут достигать весьма высоких значений.

Все имеющиеся теории, учитывающие демпфирующие свойства материала при резонансных колебаниях механических систем, в первую очередь связаны с построением нелинейных уравнений связи напряжений с деформациями для несовершенного упругого тела. Эти уравнения обычно разделяют на уравнения вязкоупругих тел и уравнения гистерезисного типа. В первом случае утверждается, что нелинейная часть напряжений, определяющая рассеяние энергии в материале, зависит от скорости деформирования материала, во втором – от амплитуды деформации или напряжения. Немногочисленные работы по исследованию рассеяния энергии в волокнистых композиционных материалах показывают, что в области напряжений, представляющих интерес при расчете конструкций, наиболее существенной является амплитудная зависимость [14 (с. 61), 15 (с. 194)].

Целью работы является моделирование рассеяния энергии в многослойном композиционном материале гистерезисного типа, армированном однонаправленными волокнами. Новизна состоит в построении комплексного гистерезисного оператора связи напряжений с деформациями пакета композитных слоев и итерационного алгоритма решения систем разрешающих уравнений для определения стационарной динамической реакции конструкций с линейно-гистерезисным материалом.

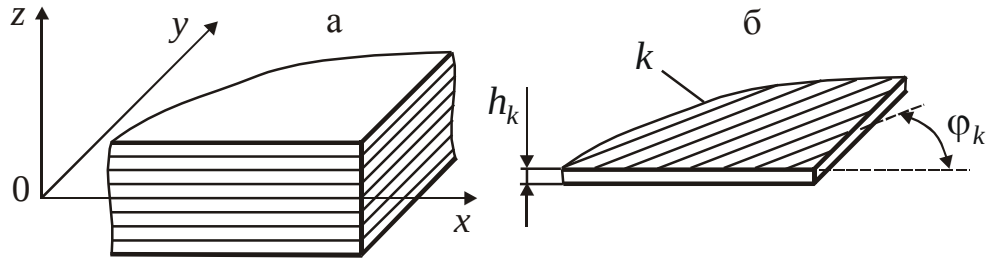


Рис. 1. Пакет композитных слоев (а) и произвольный слой с номером k (б)

Рассматривается пакет композитных слоев (рис. 1а). Напряженное состояние пакета считается плоским. Произвольный слой с номером k имеет толщину h_k и армирован однонаправленными волокнами под углом φ_k к оси Ox пакета (рис. 1б). Обычно волокна слоя располагаются в его поперечной плоскости случайным образом, и при достаточно частом их расположении композитный слой может считаться ортотропным материалом, находящимся в плоском напряженном состоянии. Физические уравнения слоя k пакета в этом случае имеют вид [13 (с. 329)]

$$\{\sigma\}_k = [D]_s \{\varepsilon\}_k, \quad (1)$$

где $\{\sigma\}_k = \{\sigma_1 \ \sigma_2 \ \tau_{12}\}_k$, $\{\varepsilon\}_k = \{\varepsilon_1 \ \varepsilon_2 \ \gamma_{12}\}_k$ – векторы, содержащие соответственно напряжения и деформации данного слоя. Физическая матрица $[D]_s$ считается одинаковой для всех слоев:

$$[D]_s = \begin{bmatrix} E_1/(1-\mu_{12}\mu_{21}) & \mu_{12}E_1/(1-\mu_{12}\mu_{21}) & 0 \\ \mu_{21}E_2/(1-\mu_{12}\mu_{21}) & E_2/(1-\mu_{12}\mu_{21}) & 0 \\ 0 & 0 & G_{12} \end{bmatrix}. \quad (2)$$

Здесь $E_1, E_2, G_{12}, \mu_{12}, \mu_{21}$ – соответственно модули нормальной упругости и модуль сдвига, а также коэффициенты Пуассона материала слоя.

Для моделирования демпфирующих свойств композитного слоя предлагается использовать известную концепцию комплексного модуля упругости [2 (с. 6), 9 (с. 19)] и принцип соответствия [2 (с. 7), 6 (с. 123)]. Согласно данному принципу физические уравнения при гармоническом законе деформирования упруго-гистерезисного материала записываются в той же форме, что и уравнения соответствующей физически линейной задачи с заменой в последних всех упругих констант материала их комплексными аналогами. Для слоя k данные уравнения будут такими:

$$\{\sigma^*\}_k = [D^*]_s \{\varepsilon^*\}_k. \quad (3)$$

Здесь $\{\sigma^*\}_k = \{\sigma_1^* \ \sigma_2^* \ \tau_{12}^*\}_k$, $\{\varepsilon^*\}_k = \{\varepsilon_1^* \ \varepsilon_2^* \ \gamma_{12}^*\}_k$ – соответственно комплексные напряжения и комплексные деформации слоя k в его осях ортотропии; $[D^*]_s$ – гистерезисный оператор, определяемый через комплексные модули упругости E_1^*, E_2^*, G_{12}^* и комплексные коэффициенты Пуассона μ_{12}^*, μ_{21}^* данного слоя:

$$[D^*]_s = \begin{bmatrix} E_1^*/(1-\mu_{12}^*\mu_{21}^*) & \mu_{12}^*E_1^*/(1-\mu_{12}^*\mu_{21}^*) & 0 \\ \mu_{21}^*E_2^*/(1-\mu_{12}^*\mu_{21}^*) & E_2^*/(1-\mu_{12}^*\mu_{21}^*) & 0 \\ 0 & 0 & G_{12}^* \end{bmatrix}. \quad (4)$$

Комплексные модули E_1^*, E_2^*, G_{12}^* находятся в соответствии с гипотезой комплексного внутреннего трения Е.С. Сорокина [9 (с. 47)]:

$$E_1^* = E_1(1 + i\delta_1/\pi); E_2^* = E_2(1 + i\delta_2/\pi); G_{12}^* = G_{12}(1 + i\delta_{12}/\pi), \quad (5)$$

где $\delta_1, \delta_2, \delta_{12}$ – логарифмические декременты колебаний композитного монослоя при деформировании его соответственно вдоль волокон, поперек волокон и при сдвиге.

Для выяснения вопроса относительно вида коэффициентов μ_{12}^*, μ_{21}^* предположим, что монослой является идеально упругим и на него действует только напряжение σ_2 . Тогда относительная деформация вдоль волокон в соответствии с обобщенным законом Гука будет такой:

$$\varepsilon_1 = -\mu_{12} \sigma_2 / E_2. \quad (6)$$

Для упруго-гистерезисного монослоя вместо (6) следует записать

$$\varepsilon_1^* = -\mu_{12}^* \sigma_2^* / E_2^*. \quad (7)$$

Так как рассеяние энергии в монослое в этом случае обусловлено только деформированием его поперек волокон, то реакция монослоя на напряжение σ_2^* в виде деформации ε_1^* должна быть мгновенной. И тогда сдвиг фазы комплексной деформации ε_1^* по отношению к комплексному напряжению σ_2^* должен быть нулевым, что будет выполняться только при условии: $\mu_{12}^* = \mu_{12}(1 + i\delta_2/\pi)$. Аналогично получается коэффициент $\mu_{21}^* : \mu_{21}^* = \mu_{21}(1 + i\delta_1/\pi)$. Найденные таким образом коэффициенты μ_{12}^*, μ_{21}^* удовлетворяют условию симметрии оператора $[D^*]_s : \mu_{12}^* E_1^* = \mu_{21}^* E_2^*$.

Остановимся на вопросе определения логарифмических декрементов $\delta_1, \delta_2, \delta_{12}$, определяющих рассеяние энергии при циклическом деформировании композитного монослоя. Подавляющее большинство работ посвящено моделированию диссипативных свойств многослойных композитных материалов, составленных из чередующихся жестких и мягких слоев, причем материал слоев считается изотропным [1 (с. 20), 5 (с. 41), 9 (с. 188-240)], что не соответствует рассматриваемому в настоящей работе вопросу. Для волокнистых композитов возможны те же подходы, что используются при определении эффективных характеристик жесткости [4 (с. 167)], т.е. модели, основанные на выделении представительного элемента объема, что представляет одну из задач механики структурно неоднородных тел. Однако изучение этого вопроса еще далеко от завершения [10 (с. 82)].

Поэтому, не углубляясь в подробности данного вопроса, будем считать, что значения $\delta_1, \delta_2, \delta_{12}$ композитного монослоя известны (их можно определить экспериментально, используя известные методики нахождения демпфирующей способности традиционных конструкционных материалов), и сосредоточим внимание на цели настоящей работы – моделировании демпфирующих свойств пакета композитных слоев.

Комплексный гистерезисный оператор $[D^*]_s$, представленный выражением (4), можно разложить на вещественную и мнимую составляющие:

$$[D]_s^* = [D]_a + i[D]_b. \quad (8)$$

Матрицы $[D]_a$ и $[D]_b$ состоят из элементов:

$$\left. \begin{aligned} D_{11,a} &= E_1(c - fb_1)/(c^2 + f^2); \quad D_{11,b} = E_1(f + cb_1)/(c^2 + f^2); \\ D_{12,a} &= D_{21,a} = \mu_{12}(D_{11,a} - D_{11,b}b_2); \\ D_{12,b} &= D_{21,b} = \mu_{12}(D_{11,b} + D_{11,a}b_2); \\ D_{13,a} &= D_{31,a} = 0; \quad D_{13,b} = D_{31,b} = 0; \\ D_{22,a} &= E_2(c - fb_2)/(c^2 + f^2); \quad D_{22,b} = E_2(f + cb_2)/(c^2 + f^2); \\ D_{23,a} &= D_{32,a} = 0; \quad D_{23,b} = D_{32,b} = 0; \quad D_{33,a} = G_{12}; \quad D_{33,b} = G_{12}\delta_{12}/\pi. \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

В формулах (9) введены обозначения:

$$c = 1 - a(1 - b_1b_2); \quad f = a(b_1 + b_2); \quad a = \mu_{12}\mu_{21}; \quad b_1 = \delta_1/\pi; \quad b_2 = \delta_2/\pi. \quad (10)$$

Таким образом, вопрос учета демпфирующих свойств монослоя по существу решен. Однако оператор $[D]_s^*$ нелинейно зависит от логарифмических декрементов δ_1, δ_2 , что не вполне увязывается с концепцией упруго-гистерезисного тела, положенной в основу получения физических уравнений несовершенного упругих материалов [9 (с. 18-22)].

Для выяснения степени влияния δ_1, δ_2 на оператор $[D]_s^*$ (матрицы $[D]_a$ и $[D]_b$) рассмотрим, например, элемент $D_{11,a}$ матрицы $[D]_a$ и выделим в его числителе и знаменателе слагаемые, содержащие b_1, b_2 :

$$D_{11,a} = E_1 \frac{1 - a - ab_1^2}{(1 - a)^2 + a(ab_1^2 + 2b_1b_2 + ab_2^2) + a^2b_1^2b_2^2}. \quad (11)$$

Считая b_1 и b_2 величинами малыми (по сравнению с единицей), отбросим в (11) величины второго и более высокого порядка малости:

$$D_{11,a} = E_1/(1 - a) = E_1/(1 - \mu_{12}\mu_{21}). \quad (12)$$

Подобным образом поступим с элементом $D_{11,b}$ матрицы $[D]_b$:

$$D_{11,b} = E_1 \frac{b_1 + ab_2 + ab_1^2b_2}{(1 - a)^2 + a(ab_1^2 + 2b_1b_2 + ab_2^2) + a^2b_1^2b_2^2}. \quad (13)$$

Оставляя в (13) только малые величины первого порядка получаем

$$D_{11,b} = \frac{E_1}{1 - a} \cdot \frac{b_1 + ab_2}{1 - a} = D_{11,a} \frac{\delta_1 + \mu_{12}\mu_{21}\delta_2}{(1 - \mu_{12}\mu_{21})\pi}. \quad (14)$$

Выражения (12), (14) можно использовать для вычисления элементов $D_{12,a}$ и $D_{12,b}$:

$$\left. \begin{aligned} D_{12,a} &= \mu_{12}(D_{11,a} - D_{11,b}b_2) = \mu_{12}D_{11,a} \left(1 - \frac{b_1 + ab_2}{1 - a} \cdot b_2 \right); \\ D_{12,b} &= \mu_{12}(D_{11,b} + D_{11,a}b_2) = \mu_{12}D_{11,a} \frac{b_1 + b_2}{1 - a}. \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

После отбрасывания в $D_{12,a}$ величин второго порядка малости выражения (15) примут вид

$$D_{12,a} = \mu_{12}D_{11,a}; \quad D_{12,b} = \mu_{12}D_{11,a} \frac{b_1 + b_2}{1 - a} = D_{12,a} \frac{\delta_1 + \delta_2}{(1 - \mu_{12}\mu_{21})\pi}. \quad (16)$$

Аналогичным образом получаются элементы $D_{22,a}, D_{22,b}, D_{21,a}, D_{21,b}$:

$$\left. \begin{aligned} D_{22,a} &= E_2 / (1 - \mu_{12}\mu_{21}); \quad D_{22,b} = D_{22,a} \frac{\delta_2 + \mu_{12}\mu_{21}\delta_1}{(1 - \mu_{12}\mu_{21})\pi}; \\ D_{21,a} &= \mu_{21}D_{22,a}; \quad D_{21,b} = D_{21,a} \frac{\delta_1 + \delta_2}{(1 - \mu_{12}\mu_{21})\pi}. \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

Из выражений (12), (14), (16) и (17) видно, что матрица $[D]_a$ получается не зависящей от декрементов δ_1 , δ_2 и совпадающей с матрицей жесткости $[D]_s$, а матрица $[D]_b$ линейно зависит от данных декрементов и представляет матрицу гистерезисного демпфирования композитного монослоя:

$$[D]_a = [D]_s = \begin{bmatrix} \bar{E}_1 & \mu_{12}\bar{E}_1 & 0 \\ \mu_{21}\bar{E}_2 & \bar{E}_2 & 0 \\ 0 & 0 & G_{12} \end{bmatrix}; \quad (18)$$

$$[D]_b = [D_g]_s = \begin{bmatrix} \bar{E}_1(\bar{\delta}_1 + \mu_{12}\mu_{21}\bar{\delta}_2) & \mu_{12}\bar{E}_1(\bar{\delta}_1 + \bar{\delta}_2) & 0 \\ \mu_{21}\bar{E}_2(\bar{\delta}_1 + \bar{\delta}_2) & \bar{E}_2(\bar{\delta}_2 + \mu_{12}\mu_{21}\bar{\delta}_1) & 0 \\ 0 & 0 & G_{12}\delta_{12}/\pi \end{bmatrix}. \quad (19)$$

В выражениях (18), (19) введены обозначения:

$$\bar{E}_i = E_i / (1 - \mu_{12}\mu_{21}); \quad \bar{\delta}_i = \delta_i \pi^{-1} / (1 - \mu_{12}\mu_{21}); \quad (i = 1; 2). \quad (20)$$

Таким образом, получается линейаризованный относительно δ_1 , δ_2 гистерезисный оператор композитного монослоя:

$$[D]_s^* = [D]_s + i[D_g]_s. \quad (21)$$

Наличие оператора $[D]_s^*$ позволяет построить комплексный гистерезисный оператор пакета композитных слоев:

$$[D]^* = [D] + i[D_g], \quad (22)$$

где $[D]$, $[D_g]$ – соответственно матрица жесткости и матрица гистерезисного демпфирования данного пакета. Для построения матрицы $[D]$ можно использовать соотношение, полученное в работе [13 (с. 330)]:

$$[D] = h^{-1} \sum_{k=1}^n h_k [T_\varepsilon^{(k)}]^T [D]_s [T_\varepsilon^{(k)}]. \quad (23)$$

Здесь h_k , h – соответственно толщина слоя k и толщина всего пакета; $[T_\varepsilon^{(k)}]$ – матрица связи деформаций $\{\varepsilon\}_k = \{\varepsilon_1 \quad \varepsilon_2 \quad \gamma_{12}\}_k$ слоя k с деформациями $\{\varepsilon\} = \{\varepsilon_x \quad \varepsilon_y \quad \gamma_{xy}\}$ пакета: $\{\varepsilon\}_k = [T_\varepsilon^{(k)}] \{\varepsilon\}$. Матрица $[T_\varepsilon^{(k)}]$ зависит от угла армирования φ_k слоя k [13 (с. 329)]:

$$[T_\varepsilon^{(k)}] = \begin{bmatrix} \cos^2 \varphi_k & \sin^2 \varphi_k & 0,5 \sin 2\varphi_k \\ \sin^2 \varphi_k & \cos^2 \varphi_k & -0,5 \sin 2\varphi_k \\ -\sin 2\varphi_k & \sin 2\varphi_k & \cos 2\varphi_k \end{bmatrix}. \quad (24)$$

Матрица $[D_g]$ строится в виде, аналогичном выражению (23):

$$[D_g] = h^{-1} \sum_{k=1}^n h_k [T_\varepsilon^{(k)}]^T [D_g]_s [T_\varepsilon^{(k)}]. \quad (25)$$

Соотношения (23), (25) справедливы при произвольных углах армирования φ_k . Однако на практике обычно используются симметричные схемы укладки слоев. В последнем случае оператор $[D]^*$ можно представить в виде, аналогичном выражению (4) для отдельного монослоя:

$$[D]^* = \begin{bmatrix} \frac{E_x^*}{(1-\mu_{xy}^*\mu_{yx}^*)} & \frac{\mu_{xy}^*E_x^*}{(1-\mu_{xy}^*\mu_{yx}^*)} & 0 \\ \frac{\mu_{yx}^*E_y^*}{(1-\mu_{xy}^*\mu_{yx}^*)} & \frac{E_y^*}{(1-\mu_{xy}^*\mu_{yx}^*)} & 0 \\ 0 & 0 & G_{xy}^* \end{bmatrix}. \quad (26)$$

Здесь $E_x^*, E_y^*, G_{xy}^*, \mu_{xy}^*, \mu_{yx}^*$ – технические комплексные модули упругости и комплексные коэффициенты Пуассона пакета:

$$\left. \begin{aligned} E_x^* &= D_{11}^* - (D_{12}^*)^2/D_{22}^*; \quad E_y^* = D_{22}^* - (D_{12}^*)^2/D_{11}^*; \quad G_{xy}^* = D_{33}^*; \\ \mu_{xy}^* &= D_{12}^*/D_{11}^*; \quad \mu_{yx}^* = D_{12}^*/D_{22}^*. \end{aligned} \right\} \quad (27)$$

Для проведения численных экспериментов выбран волокнистый композит – углепластик КМУ-8. Механические характеристики монослоя: $E_1 = 1,25 \cdot 10^5$ МПа; $E_2 = 0,09 \cdot 10^5$ МПа; $G_{12} = 0,05 \cdot 10^5$ МПа; $\mu_{12} = 0,02$; $\delta_1 = 0,18$; $\delta_2 = 0,08$; $\delta_{12} = 0,11$. Схема армирования слоев в композитном пакете: $\{\bar{h}\} = \{0,4 \ 0,2 \ 0,2 \ 0,2\}$; $\{\varphi\} = \{0^0 \ 90^0 \ 45^0 \ -45^0\}$. Здесь $\{\bar{h}\}$ – вектор, содержащий суммарные относительные толщины слоев (по отношению к толщине h пакета) с углами армирования, указанными в векторе $\{\varphi\}$. Ниже приведены значения $[D]^*$ в МПа, вычисленные в соответствии с выражениями (22), (23), (24) с использованием линейаризованного относительно δ_1, δ_2 и исходного оператора $[D]_s^*$ (в последнем случае обозначение $[D]^*$ заменено на $[\tilde{D}]^*$).

$$[D]^* = \begin{bmatrix} 68067,039 & 13486,033 & 0 \\ 13486,033 & 44737,430 & 0 \\ 0 & 0 & 15972,368 \end{bmatrix} + i \begin{bmatrix} 3812,316 & 846,822 & 0 \\ 846,822 & 2407,226 & 0 \\ 0 & 0 & 812,673 \end{bmatrix},$$

$$[\tilde{D}]^* = \begin{bmatrix} 68064,037 & 13482,549 & 0 \\ 13482,549 & 44735,268 & 0 \\ 0 & 0 & 15972,368 \end{bmatrix} + i \begin{bmatrix} 3812,285 & 846,813 & 0 \\ 846,813 & 2407,206 & 0 \\ 0 & 0 & 812,667 \end{bmatrix}.$$

Значения $[D]^*$ и $[\tilde{D}]^*$ практически совпадают, что говорит о возможности применения линейаризованного гистерезисного оператора (21).

С целью апробации гистерезисного оператора $[D]^*$ пакета композитных слоев рассматриваются продольные резонансные колебания стержня с тремя сосредоточенными грузами (рис. 2) при действии периодически изменяющейся силы $P(t) = P_0 \cos pt$ с

амплитудой $P_0 = 750$ Н и частотой

$p = \omega_1 = 543,147 \text{ с}^{-1}$, где ω_1 – низшая частота свободных колебаний недемпфированной системы, найденная методом обратных итераций на основе отношения Релея [7 (с. 87)]. Трение грузов о поверхность не учитывается. Массы

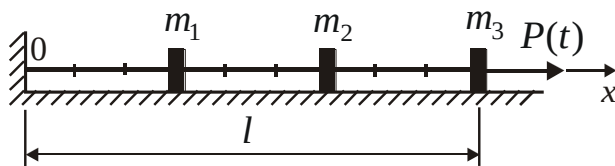


Рис. 2. Расчетная модель стержня
грузов: $m_1 = 40$ кг; $m_2 = 30$ кг; $m_3 = 20$ кг. Длина стержня $l = 0,81$ м, площадь

поперечного сечения $F = 1 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ (сечение прямоугольное). Материал стержня – углепластик КМУ-8 с прежними механическими характеристиками $E_1, E_2, G_{12}, \mu_{12}$. Плотность материала $\rho = 1800 \text{ кг/м}^3$. Зависимости декрементов $\delta_1, \delta_2, \delta_{12}$ гистерезисного монослоя от амплитуд соответствующих деформаций $\varepsilon_{1,0}, \varepsilon_{2,0}, \gamma_{12,0}$ аппроксимируются степенными полиномами (по причине отсутствия в литературе данных о демпфирующей способности рассматриваемого материала зависимости взяты гипотетическими, но примерно в соответствии с их реальными значениями):

$$\left. \begin{aligned} \delta_1 &= 207,6766 \varepsilon_{1,0} - 8,02963 \cdot 10^4 \varepsilon_{1,0}^2 + 1,05781 \cdot 10^7 \varepsilon_{1,0}^3; \\ \delta_2 &= 66,1280 \varepsilon_{2,0} - 5,80864 \cdot 10^4 \varepsilon_{2,0}^2 + 2,18583 \cdot 10^7 \varepsilon_{2,0}^3; \\ \delta_{12} &= 21,7923 \gamma_{12,0} - 5,09560 \cdot 10^3 \gamma_{12,0}^2 + 5,32471 \cdot 10^5 \gamma_{12,0}^3 \end{aligned} \right\} \quad (28)$$

Схема укладки слоев: $\{\bar{h}\} = \{0,8 \ 0 \ 0,1 \ 0,1\}$; $\{\varphi\} = \{0^\circ \ 90^\circ \ 45^\circ \ -45^\circ\}$.

Стержень моделируется девятью конечными элементами с линейным полем перемещений. Матрица жесткости, матрица гистерезисного демпфирования и матрица масс конечного элемента с номером m имеют вид

$$[K]_m = \frac{E_x F}{H} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix}; \quad [K_g]_m = \frac{E_{gx} F}{H} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix}; \quad [M]_m = \frac{\rho F H}{6} \begin{bmatrix} 2 & 1 \\ 1 & 2 \end{bmatrix}, \quad (29)$$

где $E_x = D_{11} - D_{12}^2/D_{22}$ – модуль нормальной упругости стержня, $E_{gx} = \text{Im}(E_x^*)$

– мнимая часть комплексного модуля E_x^* , определяемого в соответствии с первым выражением в соотношениях (27); H – длина элемента.

Резонансные амплитуды узловых перемещений конечно-элементной модели стержня определяются из системы уравнений [11 (с. 36), 12 (с. 23)]

$$\left[\begin{array}{c|c} [K] - p^2[M] & [K_g] \\ \hline [K_g] & -[K] + p^2[M] \end{array} \right] \begin{Bmatrix} \{r_a\} \\ \{r_b\} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \{P_0\} \\ 0 \end{Bmatrix}, \quad (30)$$

где $[K], [M], [K_g]$ – соответственно матрица жесткости, матрица масс и матрица гистерезисного демпфирования данной модели; $\{r_a\}, \{r_b\}$ – синфазные с нагрузкой и отстающие от нее на угол $\pi/2$ (ортофазные) компоненты амплитуд узловых перемещений; $\{P_0\}$ – вектор амплитуд внешних узловых сил. По найденным из системы (30) векторам $\{r_a\}, \{r_b\}$ находятся амплитуды узловых перемещений конечно-элементной модели стержня и их сдвиги фаз относительно нагрузки:

$$r_{0,k} = \sqrt{r_{a,k}^2 + r_{b,k}^2}, \quad \text{tg} \varphi_k = r_{b,k}/r_{a,k}. \quad (31)$$

Однако матрица $[K_g]$ в системе (30) довольно сложным образом (через операторы $[D]_s^*$ и $[D]^*$) зависит от логарифмических декрементов колебаний $\delta_1, \delta_2, \delta_{12}$ монослоя, а те в свою очередь зависят от амплитуд соответствующих деформаций (разных в каждом слое и в каждом конечном элементе), которые на момент формирования системы (30) еще неизвестны. Поэтому решение данной системы необходимо итерировать.

Традиционный прием построения итерационного алгоритма решения физически нелинейных задач состоит в вычислении входных данных для начала следующей итерации по выходным данным в конце текущей итерации. Но проведенные при этом численные эксперименты (на примере рассматриваемого стержня) привели к расходимости

итерационного процесса. В работе предлагается алгоритм, обеспечивающий надежную и достаточно быструю сходимость решения системы (30) к определенному пределу на основе рекуррентной формулы

$$\{r_{i+1}\} = \{r_i\} + \beta(\{r'_i\} - \{r_i\}) \quad (0 < \beta < 1), \quad (32)$$

где $\{r_i\}$, $\{r'_i\}$ – вектор $\{r\}$, состоящий из компонент $\{r_a\}$, $\{r_b\}$ соответственно в начале и конце текущей итерации i ; $\{r_{i+1}\}$ – то же в начале следующей итерации. Алгоритм стартует при $i = 0$ и $\{r_i\} = 0$. Количество итераций зависит от параметра β и заданной точности ε решения системы (30). Итерации прекращаются при выполнении условия

$$\|r_i - r_{i-1}\|_2^2 / \|r_i\|_2^2 \leq \varepsilon, \quad (33)$$

содержащего квадраты вторых норм соответствующих векторов.

Необходимо заметить, что в режиме резонанса $\det([K] - p^2[M]) = 0$. Это приводит к начальной сингулярности матрицы системы (30) поскольку при $\{r_i\} = 0$ матрица $[K_g] = 0$. Для исключения данной ситуации необходимо в начале итераций задать некоторые небольшие начальные значения $\delta_1, \delta_2, \delta_{12}$ (чтобы получить $[K_g] \neq 0$).

Система (30) решалась с точностью $\varepsilon = 1 \cdot 10^{-6}$. Наименьшее число итераций $N = 6$ получилось при параметре $0,75 \leq \beta \leq 0,9$. Ниже приведены некоторые результаты исследования динамической реакции стержня в резонансном режиме нагружения при $\beta = 0,75$. В таблице приведены амплитуды деформаций $\varepsilon_{x,0}$, амплитуды средних напряжений $\sigma_{x,0}$ в поперечных сечениях конечных элементов и значения логарифмического декремента δ_x композитного пакета в каждом элементе в конце итераций. Значения δ_x найдены двумя способами: из зависимости $E_{gx} = E_x \delta_x / \pi$ и по известной мере рассеяния энергии в материале $\text{tg} \gamma = \delta_x / \pi$, где γ – сдвиг фазы между напряжением и деформацией при резонансе [8 (с. 9)].

Таблица - Амплитуды деформаций $\varepsilon_{x,0}$, амплитуды средних напряжений $\sigma_{x,0}$ в конечных элементах и логарифмические декременты δ_x композитного пакета по элементам стержня в конце итераций

Элемент	$\varepsilon_{x,0}$	$\sigma_{x,0}$, МПа	$\delta_x = \pi E_{gx} / E_x$	$\delta_x = \pi \text{tg} \gamma$
1	0,0018101	189,150	0,1690	0,1690
2	0,0018100	189,143	0,1690	0,1690
3	0,0018098	189,127	0,1690	0,1690
4	0,0012593	131,555	0,1493	0,1493
5	0,0012591	131,526	0,1493	0,1493
6	0,0012587	131,492	0,1493	0,1493
7	0,0005602	58,474	0,0893	0,0893
8	0,0005977	58,432	0,0892	0,0892
9	0,0005935	58,388	0,0892	0,0892

Амплитуды напряжений $\sigma_{x,0}$ на каждом участке стержня, заключенном между массами m_1, m_2, m_3 , получились практически постоянными, что говорит о весьма малом

влиянии инерционных сил, обусловленных массой стержня, на распределение напряжений по его длине (масса стержня $m = 0,146$ кг, общая масса грузов $m_1 + m_2 + m_3 = 90$ кг). Скачки в $\sigma_{x,0}$ на границах участков обусловлены силами инерции на массах m_1, m_2, m_3 . Отмеченное распределение $\sigma_{x,0}$ дает практически постоянные на участках стержня значения δ_x (одинаковые в обоих способах). При этом большим значениям $\sigma_{x,0}$, как и должно быть, соответствуют большие значения δ_x .

На рис. 3 приведены нормированные низшие формы $f(x)$ резонансных и свободных колебаний стержня, которые являются практически идентичными, что подтверждает известное правило Видлера [3 (с. 27)] о преобладании при резонансе той формы свободных колебаний, которая соответствует частоте резонанса. На рис. 4 приведена резонансная кривая амплитуды u_0 основного тона колебаний свободного конца стержня.

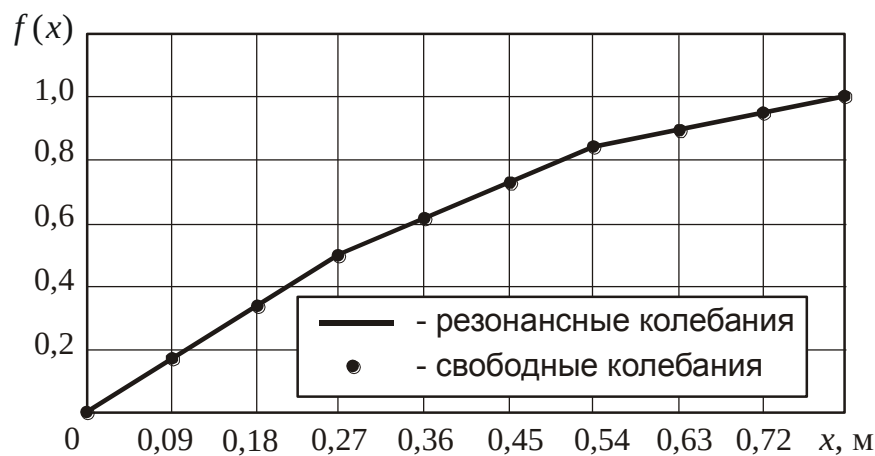


Рис. 3. Нормированные низшие формы $f(x)$ резонансных и свободных колебаний стержня

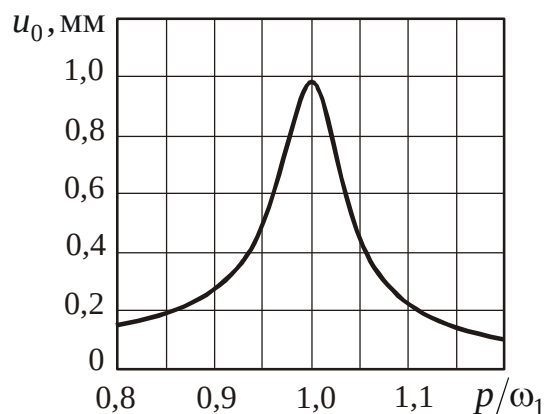


Рис. 4. Резонансная кривая амплитуды u_0 основного тона колебаний свободного конца стержня

Наиболее сильным критерием оценки достоверности полученных результатов является выполнение условия энергетического баланса, состоящего в равенстве рассеянной энергии ΔW во всем объеме стержня за один цикл колебаний работе силы $P(t) = P_0 \cos pt$ в течение того же цикла:

$$\Delta W = 2Fh \sum_{m=1}^9 \delta_x^{(m)} W^{(m)} = A = \int_0^T P(t) \dot{u}(l, t) dt. \quad (34)$$

Здесь $W^{(m)} = \sigma_{x,0}^{(m)} \varepsilon_{x,0}^{(m)} / 2$ – максимальная энергия деформации в единице объема конечного элемента m за цикл колебаний; $u(l, t)$ – перемещение $u(t)$ точки приложения силы $P(t)$; T – период колебаний. Вычисления дали: $\Delta W = 2,309 \text{ Н} \cdot \text{м}$; $A = 2,306 \text{ Н} \cdot \text{м}$.

Список литературы:

1. *Александрова Т.А., Кришневский Б.А., Никитина И.В.* Демпфирующие полимерные материалы // Сб. материалов VII Российской научно-техн. конф. “Демпфирующие материалы”. Киров, 1994. С. 20–21.
2. *Василенко Н.В.* Учет несовершенной упругости материала при механических колебаниях методом комплексных модулей // Рассеяние энергии при колебаниях механических систем. Киев: Наукова думка, 1974. С. 5–12.
3. *Василенко Н.В.* Способы получения матриц демпфирования в методе конечных элементов // Рассеяние энергии при колебаниях механических систем. Киев: Наукова думка, 1980. С. 25–36.
4. *Голотина Л.А., Кожевникова Л.Л.* Численные алгоритмы перехода от исследования структурных механизмов деформирования композита к континуальным описаниям его механического поведения // Материалы XV международной конференции по вычислительной механике и современным прикладным программным системам. Алушта, 2007. С. 167–168.
5. *Дубенец В.Г.* Рассеяние энергии в слоистых композиционных материалах // Рассеяние энергии при колебаниях механических систем. Киев: Наукова думка, 1982. С. 40–46.
6. *Пальмов В.А.* Колебания упруго-пластических тел. М.: Наука, 1976. 328 с.
7. *Парлетт Б.* Симметричная проблема собственных значений. Численные методы. М.: Мир, 1983. 384 с.
8. *Постников В.С.* Внутреннее трение в металлах. М.: Металлургия, 1969. 330 с.
9. *Хильчевский В.В., Дубенец В.Г.* Рассеяние энергии при колебаниях тонкостенных элементов конструкций. Киев: Вища школа, 1977. 252 с.
10. *Хильчевский В.В., Дубенец В.Г.* Колебания вибродемпфированных структурно-неоднородных конструкций // Сб. материалов VIII Российской научно-техн. конф. “Демпфирующие материалы”. Киров, 1999. С. 80–84.
11. *Шишкин В.М.* Формирование систем разрешающих уравнений для анализа стационарной динамической реакции неидеально упругих конструкций // Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева. 2005. № 2. С. 35–38.
12. *Шишкин В.М.* Конечно-элементное моделирование демпфирующих свойств материала при резонансных колебаниях тонкостенных конструкций // Вятский научный сборник. Киров, 2008. С. 19–30.
13. *Шишкин В.М., Левашов А.П.* Определение обобщенных жесткостей композиционного материала с произвольной схемой укладки слоев // Сб. материалов Всероссийской научно-техн. конф. “Общество-наука-инновации”. Т. 3. Киров, 2010. С. 328–331.
14. *Яковлев А.П.* О демпфирующих свойствах композиционного материала с однонаправленными непрерывными волокнами // Проблемы прочности, 1973, №2. С. 60–64.
15. *Яковлев А.П.* Диссипативные свойства неоднородных материалов и систем. Киев: Наукова думка, 1985. 248 с.

**МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ВЕТРОГЕНЕРАТОРОВ**

Рассмотрен метод моделирования динамических характеристик ветрогенераторов с горизонтальной осью вращения. Особое внимание уделено механическим переходным процессам. Приведены описание метода и результаты его тестирования.

Ключевые слова: энергоэффективность ветроэлектростанций, динамические характеристики, момент и частота вращения ветротурбины.

Повышение энергоэффективности ветроэлектростанций (ВЭС) остается актуальной задачей, несмотря на значительные успехи современной ветроэнергетики.

Перспективными путями улучшения энергетических характеристик ВЭС являются согласование графика электропотребления с ветроэнергетическими ресурсами места установки станции и расширение диапазона рабочих параметров воздушного потока, поступающего на ветротурбину в статических и динамических режимах. Совершенствование ВЭС в указанных направлениях позволяет добиться ощутимых результатов при относительно небольших финансовых и ресурсных затратах.

Особую актуальность вопросы энергоэффективности ВЭС приобретают в автономных системах электроснабжения, характеризующихся соизмеримостью установленных мощностей генерирующих, потребляющих и аккумулирующих энергоустановок.

Динамические режимы ветрогенератора, вызванные изменениями скорости ветра или электрической нагрузки ВЭС, характеризуются двумя составляющими: механической, вызванной инерционностью вращающихся масс, и электромагнитной, определяемой переходными процессами в электромашинном генераторе.

Относительно низкая удельная мощность ветрового потока определяет необходимость использования ветроколес большого диаметра, даже для ВЭС небольшой мощности. Следовательно, значительный момент инерции лопастей ветроколеса является определяющим в суммарном моменте инерции механической системы ВЭС.

Постоянная времени механического переходного процесса ветрогенератора, определяемая в основном моментом инерции ветротурбины, существенно больше электромагнитной постоянной времени самого инерционного элемента синхронного генератора – обмотки возбуждения.

Таким образом, для исследования переходных процессов ВЭС необходимо анализировать дифференциальное уравнение движения ветрогенератора. Электромагнитные процессы в электромашинном генераторе с соответствующими электрическими нагрузками вполне допустимо исследовать по статическим характеристикам, используя методы эквивалентирования синхронных машин, методы построения векторных диаграмм и др.

Уравнение движения вращающихся частей ветрогенератора имеет известный вид

$$M_{\text{вт}} - M_{\text{н}} = J \frac{d\Omega}{dt}, \quad (1)$$

где $M_{\text{вт}}$ – вращающий момент ветротурбины, Н·м; $M_{\text{н}}$ – тормозной момент электромашинного генератора, Н·м; J – момент инерции вращающихся масс ветрогенератора, кг·м²; Ω – угловая скорость ветрогенератора, рад/с.

Для анализа динамических режимов ветрогенератора необходима моментная характеристика ветротурбины вида $M_{\text{вт}} = f(\Omega)$ при $V = \text{const}$.

Развиваемый ветротурбиной вращающий момент связан с ее мощностью и угловой скоростью

$$M_{\text{вт}} = \frac{P_{\text{вт}}}{\Omega}.$$

Мощность ветротурбины зависит от скорости ветра и радиуса ветроколеса [1]

$$P_{\text{вт}} = 0,5 \cdot \rho \cdot \pi \cdot \eta \cdot R^2 \cdot V^3 \cdot C_p, \quad (2)$$

где ρ – плотность воздуха, кг/м^3 ; η – КПД электромеханического преобразования; R – радиус ветроколеса, м; V – скорость ветра, м/с; C_p – коэффициент использования энергии ветра.

Построение мощностной и моментной характеристик ветротурбины, согласно [2], основывается на идеальной аэродинамической характеристике, представленной на рис. 1.

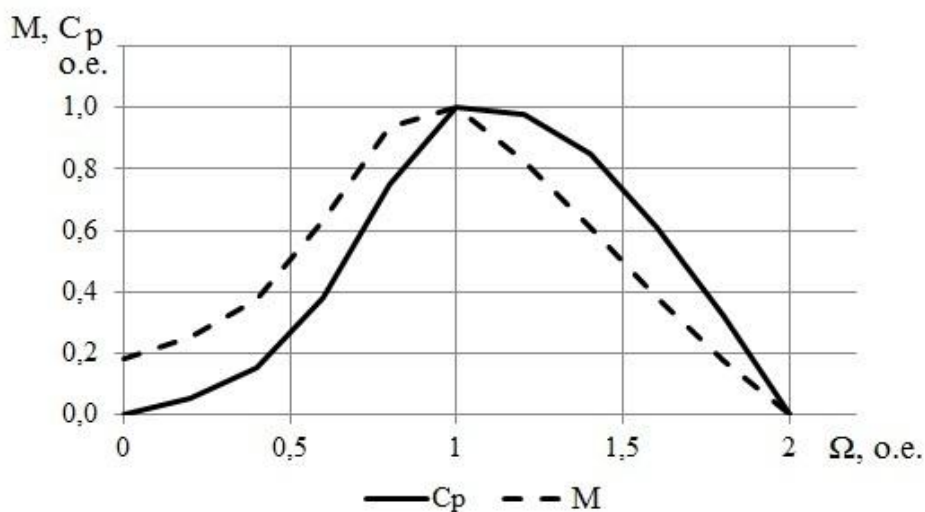


Рис. 1 – Идеальная аэродинамическая характеристика

Зная максимальное значение коэффициента использования энергии ветра $C_{p,\text{макс}}$ и нормальное число модулей $Z_{\text{норм}}$, определяется реальная аэродинамическая характеристика ветротурбины. В итоге, для конкретной ветроэнергетической установки (ВЭУ) могут быть построены моментные характеристики для различных скоростей ветра V_i . Данная характеристика, выраженная в графическом или аналитическом виде, дает исчерпывающую информацию о вращающем моменте ветротурбины в различных режимах ее работы.

Момент инерции современного ветрогенератора состоит из суммарного момента инерции ротора электромашинного генератора и момента инерции ветротурбины.

Момент инерции ротора генератора определяется по выражению [3]

$$J_{\text{ген}} = \frac{G \cdot D^2}{4},$$

где $G \cdot D^2$ – маховый момент, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$.

Как правило, момент инерции ротора генератора приводится в справочниках по электрическим машинам.

Момент инерции ветроколеса, представляющего собой пропеллер с горизонтальной осью вращения, определяется как сумма моментов инерции лопастей относительно оси вращения

$$J_{\text{вк}} = \sum_{i=1}^n J_{\text{лоп}},$$

где i – количество лопастей, шт.

Если лопасти выполняются сплошными и имеются сведения о материале изготовления и применяемом профиле, то ее момент инерции определяется по выражению [1]

$$J_{\text{лоп}} = \frac{L}{4} \cdot \rho_{\text{лоп}} \cdot b^4 \cdot 0,0988 \cdot K_c,$$

где L – длина лопасти, м; $\rho_{\text{лоп}}$ – плотность материала лопасти, кг/м³; b – ширина лопасти, м; K_c – коэффициент, учитывающий относительную толщину профиля.

Коэффициент, учитывающий относительную толщину профиля, определяется следующим образом

$$K_c = 0,7652 + 4,6964(\bar{c} - 0,1), \text{ при } \bar{c} < 0,15;$$

$$K_c = 1 + 3,586(\bar{c} - 0,15), \text{ при } \bar{c} > 0,15;$$

$$K_c = 1, \text{ при } \bar{c} = 0,15,$$

где $\bar{c}$ – относительная толщина профиля, являющаяся отношением максимальной толщины лопасти к ее ширине.

На сегодняшний день в основном используются изготовленные из пластика полые лопасти, армированные стеклянным или углеродным волокном. Это обстоятельство усложняет определение момента инерции лопасти.

В таком случае момент инерции лопасти определяется по эмпирическому выражению

$$J_{\text{лоп}} = 0,11 \cdot L^{4,64}.$$

Момент сопротивления трехфазного синхронного генератора определяется в основном величиной активной мощности его нагрузки

$$P_n = 3 \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi_n,$$

где U – напряжение генератора, В; I – ток генератора; $\cos \varphi$ – коэффициент мощности нагрузки.

Пренебрегая переходными процессами в генераторе, его выходные электрические величины удобно определять по векторной диаграмме.

Учет режима работы генератора с переменной частотой вращения осуществляется введением в систему относительных параметров синхронной машины относительной частоты ω . Это же обстоятельство позволяет не учитывать насыщение магнитной цепи генератора, рассчитанного для работы при переменной частоте вращения.

Расчет параметров и построение векторной диаграммы синхронных генераторов с электромагнитной системой возбуждения и с системой возбуждения на постоянных магнитах приводится в литературе [3, 4].

Учитывая нелинейные зависимости вращающего момента ветротурбины от скорости ветра и частоты вращения, решение уравнения движения (1) выполняется численным методом. В частности, минимальный порядок дифференциального уравнения позволяет использовать классический метод Эйлера первого порядка, обеспечивающий достаточную точность и простоту вычислений. Порядок расчета заключается в следующем. В течение интервала дискретизации переходного процесса Δt угловая скорость ветрогенератора изменяется на определенную величину $\Delta \Omega$, что позволяет определить изменение вращающего момента ветротурбины по ее моментной характеристике. Затем по найденным значениям угловой скорости и момента ветротурбины в конце рассматриваемого временного интервала вычисляются новые значения этих параметров. Последние используются для расчета следующего интервала.

В результате изменения угловой скорости изменяются параметры рабочей точки по одному из вариантов:

- рабочая точка перемещается по той же моментной характеристике ветротурбины для конкретного значения скорости ветра, что соответствует набросам/сбросам электрической мощности нагрузки;
- рабочая точка перемещается на новую моментную характеристику ветротурбины при изменении скорости ветра.

Результатом моделирования динамического процесса ветрогенератора является представление перехода параметров энергоустановки из одного установившегося режима в другой в функции времени, определение момента инерции и механической постоянной времени.

Предлагаемый метод протестирован на ВЭУ типа АВЭ-250С, USW 56-100, Fortis Alize и АВЭУ-4, для которых рассматривались случаи: изменение скорости ветра при постоянной величине мощности нагрузки; изменение мощности нагрузки при постоянной скорости ветра.

В качестве примера на рис. 2 приведены результаты переходного процесса при изменении скорости ветра для ВЭУ Fortis Alize номинальной мощностью 10 кВт.

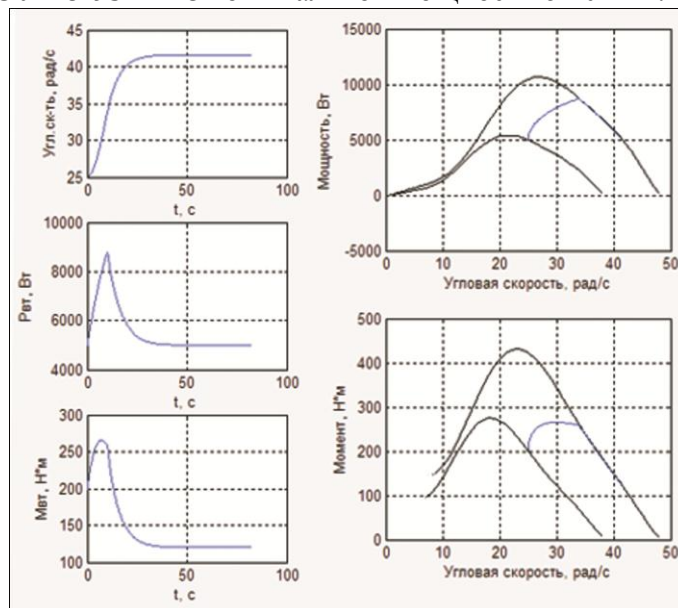


Рис. 2 – Динамические характеристики ВЭУ Fortis Alize-10

Предлагаемая методика исследования динамических характеристик ветрогенераторов удобна для моделирования режимов работы автономных систем электроснабжения с ветроэлектростанциями или гибридными ветро-дизельными энергетическими комплексами. Методика универсальна и достаточно проста, так как основывается на данных спецификации конкретных ветроэлектростанций.

Расчеты динамических режимов конкретных ветрогенераторов подтвердили эффективность методики и целесообразность ее использования для создания моделей различных систем электроснабжения с ветроэлектростанциями.

Данная работа выполнена в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009-2013 годы по направлению «Новые и возобновляемые источники энергии».

Список литературы:

1. Неисчерпаемая энергия. Кн. 2. Ветроэнергетика / В.С. Кривцов, А.М. Олейников, А.И. Яковлев. – Учебник. – Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», Севастополь: Севаст. нац. техн. ун-т, 2004. – 519 с.
2. Сабинин Г.Х. Теория и аэродинамический расчет ветряных двигателей. Труды ЦАГИ, вып. 104, 1931.
3. Вольдек А.И. Электрические машины. Учебник для студентов высш.тезн.учебн.заведений. – 3-е изд., перераб. – Л.: Энергия, 1978.–832 с.
4. Балагуров В.А. Электрические генераторы с постоянными магнитами / В. А. Балагуров, Ф. Ф. Галтеев. — М.: Энергоатомиздат, 1988. – 279 с.

Л.А. Мальцева д.т.н., Т.В. Мальцева к.т.н., Н.Н. Озерец к.т.н., К.Д. Храмцова,
В.А. Шарапова

ВЛИЯНИЕ ТЕРМОПЛАСТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ И РЕЛАКСАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА МЕТАСТАБИЛЬНОЙ АУСТЕНИТНОЙ СТАЛИ

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина,
г. Екатеринбург, Россия,
mla44@mail.ru

Рассмотрены механические и релаксационные свойства в коррозионностойкой метастабильной аустенитной стали 03X14N11K5M2ЮТ в зависимости от предварительных обработок и температурно-временных условий их проведения.

Ключевые слова: релаксация, упругость, упругое последствие, холодная пластическая деформация, плющение, старение, интерметаллид.

Из числа нестабильных аустенитных сталей наиболее широкое распространение в качестве коррозионностойких материалов получили хорошо известные хромоникелевые стали типа 18-8. Типичными представителями этой группы являются стали 12X18H10T и другие близкие по составу. К основным достоинствам указанных сталей следует отнести их высокую коррозионную стойкость, повышенную пластичность в закаленном состоянии и склонность к сильному упрочнению в процессе холодной пластической деформации. Эти стали отличаются также хорошей релаксационной стойкостью при температурах 250-300° С. Сведения об особенностях термомеханической обработки, структуры и свойствах проволоки и ленты из указанных сталей, обобщены в монографии А.Г. Рахштадта [5]. Однако промышленные стали 12X18H10T имеют и ряд недостатков. В частности, их отличает пониженная релаксационная стойкость при температурах выше 300° С и в особо жестких условиях нагружения показатели прочностных свойств у них являются недостаточными. При производстве проволоки тонких сечений данные стали проявляют недостаточную пластичность, что приводит к большему числу промежуточных смягчающих термообработок и, как следствие, к увеличению себестоимости продукции из тонкой проволоки. Поэтому нами была разработана практически безуглеродистая сталь на Fe-Cr-Ni основе с дополнительным легированием кобальтом, молибденом, титаном и алюминием, которая в виду особенности ее легирования обладает высокой пластичностью и технологичностью в закаленном состоянии, что позволяло использовать интенсивные пластические деформации при производстве проволоки или ленты. Высокопрочное состояние в исследуемой стали, обычно достигается закалкой на пересыщенный γ -твердый раствор, холодной пластической деформацией волочением или плющением с высокими суммарными степенями деформации и проведением дальнейшего последеформационного старения [4]. Более высокая пластичность и технологичность исследуемой аустенитной стали, а также возможность использования при получении проволоки требуемого диаметра интенсивных пластических деформаций, позволяет достигать более высоких прочностных свойств и делает привлекательной перспективу использования подобных материалов для изготовления специальных высокопрочных упругих элементов. В связи с этим особую важность приобретает выяснение способности данных сталей сопротивляться развитию релаксационных процессов при повышенных температурах, что дает возможность судить об уровне их теплостойкости. Цель настоящей работы – исследование влияния режимов термопластической обработки на механические и релаксационные свойства стали 03X14N11K5M2ЮТ.

Исследования проводили на ленточных образцах (сечением 0,45 х 5,0 мм) практически безуглеродистой стали 03X14H11K5M2ЮТ. Исходная обработка ленточных образцов: закалка от 1000° С в воде; закалка + деформация волочением проволоочной заготовки со степенью обжатия 55 % + плющение со степенью обжатия 60 %. Закаленные, а также деформированные ленточные образцы подвергали старению при температурах 300°, 400°, 425°, 450°, 475°, 500°, 600° и 700° С с выдержкой 1 ч. Условный предел упругости при изгибе $\sigma_{0,03}$ ленточных образцов определялся по методике В.Я. Зубова [3].

Испытания на релаксацию напряжений проводили путем нагружения ленточных образцов в кольцах различного диаметра с выдержкой при температурах 300° и 400° С. Начальное напряжение принимали равным $\sigma_0 = 0,7-0,8 \cdot \sigma_{0,03}$ и подсчитывали по формуле:

$$\sigma_0 = E \cdot \varepsilon = E \frac{h/2}{\rho_0},$$

где E – модуль нормальной упругости; ε – упругая деформация; h – толщина ленты, мм; ρ_0 – начальный радиус кривизны ленты, т.е. внутренний радиус кольца. Напряжения, снятые в процессе релаксации $\sigma_{сн}$, подсчитывали по формуле:

$$\sigma_{сн} = E \frac{h/2}{\rho_p},$$

где ρ_p – остаточный радиус кривизны ленточного образца после релаксации напряжений. Релаксирующее напряжение σ_r , т.е. остаточное напряжение в любой момент времени определяли как разность $\sigma_r = \sigma_0 - \sigma_{сн}$. Релаксацию напряжений при изгибе проводили при температурах 300° и 400° С в течение 5, 10, 30, 60, 180, 300 и 600 мин. Испытания на релаксацию напряжений проводили на деформированных образцах, деформированных и состаренных при 400° С, а также на деформированных и состаренных при 500° С в течение 10 ч. На рис.1 показано влияние температуры старения закаленных и деформированных образцов на условный предел упругости ($\sigma_{0,03}$) и число перегибов (n) исследуемой стали.

Исследование механических свойств пружинной ленты показало, что старение предварительно закаленных образцов не приводит к заметному изменению упругих свойств, в то время как холодная пластическая деформация (волочением и плющением) привела к существенному повышению предела упругости (с 215 до 1150 МПа).

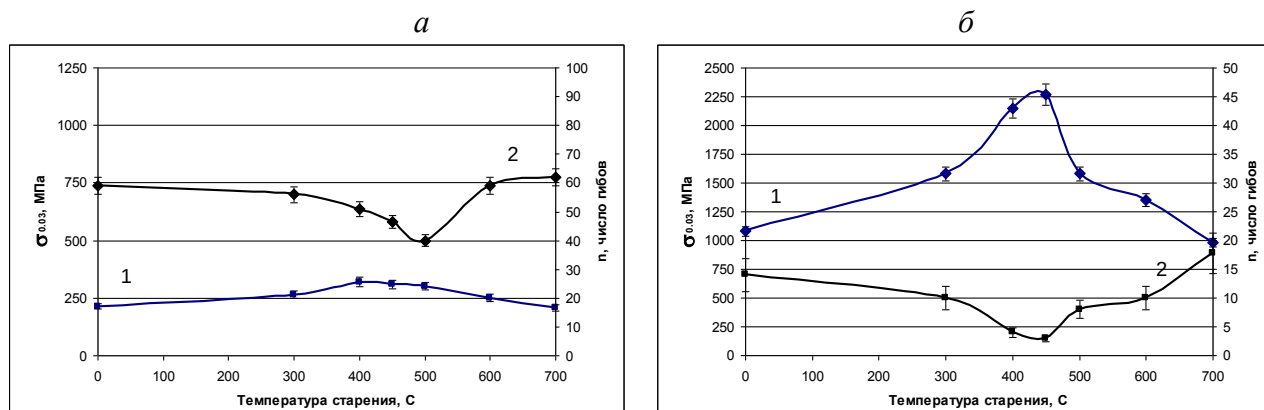


Рис. 1. Зависимость предела упругости (кривая 1) и числа перегибов (2) закаленной (а) и деформированной (б) ленты

Упрочнение исследуемой аустенитной стали обусловлено одновременным и сложным влиянием ряда факторов. Повышение упругих свойств в результате холодной пластической деформации обусловлено с одной стороны наклепом и усилением дефектности структуры γ -твердого раствора вследствие развития пластического деформирования путем скольжения и двойникования, а с другой стороны интенсивностью протекания $\gamma \rightarrow \alpha$ или $\gamma \rightarrow \varepsilon \rightarrow \alpha$ превращений, появлением в аустените высокодисперсных кристаллов мартенсита способных «наследовать» дефекты аустенита. Следует подчеркнуть, что количество мартенсита деформации в исследуемой метастабильной аустенитной стали при деформации может достигать 80-90%. Последующее старение дополнительно повышает предел упругости деформированной стали. Максимальные значения условного предела упругости ($\sigma_{0,03}$) достигаются при температурах 450° С, что связано с процессами распада ОЦК-твердого раствора (мартенсита деформации) с образованием упорядоченной изоморфной по отношению к ОЦК фазе алюминиды NiAl . Пластичность и вязкость ленты, оцениваемая по числу знакопеременных гибов после старения при 400-450°С имеет минимальные значения. При более высоких температурах старения происходит нарушение когерентной связи частиц второй фазы и матрицы и снятие локальных напряжений, а также протекание обратного $\gamma \rightarrow \alpha$ превращения.

Наряду с упругими и пластическими свойствами пружинной ленты важной характеристикой является их релаксационная стойкость при повышенных температурах. Для высокопрочных материалов, к которым следует отнести и исследуемую метастабильную аустенитную сталь, следует иметь в виду, что достижение высокой прочности практически всегда основано на получении метастабильного состояния. Для метастабильного состояния релаксация обусловлена взаимодействием структурного и сдвигового механизма. Интенсивность процесса релаксации находится в сложной зависимости от температурно-временных параметров испытания и режимов термомеханического упрочнения. При определенных условиях релаксационная устойчивость может преимущественно зависеть от активности того механизма релаксации, который становится ведущим звеном в релаксационном процессе [2]. На рис.2 приведены кривые изменения относительной релаксационной стойкости исследуемой стали 03X14H11K5M2ЮТ в зависимости от температуры предварительного старения при температурах испытания 300 (а) и 400° С (б) длительностью 10 часов и начальном напряжении $\sigma_0 = 0,8 \sigma_{0,03}$. Наиболее низкая релаксационная стойкость наблюдается после закалки и пластической деформации. Значительная релаксация напряжений после закалки и холодной пластической деформации обусловлена интенсивным развитием структурного механизма релаксации, связанного с протеканием процессов стабилизирующих структуру непосредственно в поле приложения напряжений изгиба [1]. При анализе релаксационной стойкости нестабильных сталей необходимо учитывать также роль мартенсита деформации в осуществлении релаксации. Образование мартенсита способствует усилению упрочнения, при этом наиболее заметно его влияние наблюдается при старении. Эффективность повышения прочностных свойств при старении находится в зависимости от объемной доли мартенсита. Деформационное старение можно рассматривать как гетерогенный распад ОЦК - твердого раствора в условиях высокой плотности дефектов, идущий с выделением частиц избыточной фазы. Оно не только способствует термической стабильности структуры, но и при соответствующих температурно-временных условиях нагрева может дополнительно повышать прочностные характеристики (в первую очередь предел упругости) деформированных сталей.

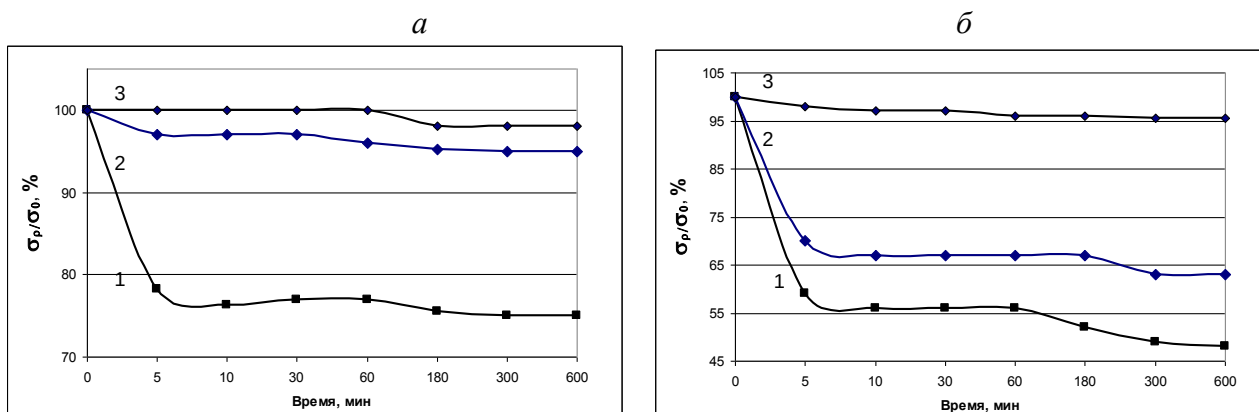


Рис. 2. Релаксационная стойкость исследуемой стали при $T_r = 300^\circ \text{C}$

(а) и при $T_r = 400^\circ \text{C}$ (б) после различных обработок:

1 – деформация; 2 – деформация + старение 400°C , 1 ч; 3 – деформация + старение 500°C , 1 ч

Благодаря этому возрастает сопротивление сдвиговому механизму релаксации, ослабляется влияние структурного и, как следствие, наблюдается существенное усиление релаксационной стойкости. Из полученных данных можно сделать вывод, что на релаксационную стойкость деформированной стали большое влияние оказывает степень структурной метастабильности. Дополнительное старение увеличивает сопротивление релаксации напряжений при температурах 300 и 400°C , особенно в том случае, когда температура старения становится выше температуры релаксации, что приводит к увеличению стабильности структуры. При этом снижение релаксирующего напряжения не превышает 5 %, что свидетельствует о высокой релаксационной стойкости стали 03X14N11K5M2ЮТ при повышенных температурах.

ВЫВОДЫ

1. Релаксационная стойкость исследуемой стали 03X14N11K5M2ЮТ зависит от степени метастабильности ее структуры.
2. Наиболее высокое сопротивление релаксации напряжений наблюдается после обработки по режиму: закалка, деформация со степенью обжатия 60% и последующее старение при 500°C , 1 ч.
3. Сталь 03X14N11K5M2ЮТ после обработки по оптимальному режиму является теплостойкой и может быть использована для высоконагруженных пружин упругих элементов.

Список литературы:

1. Банных О.А. Прямое и обратное упругие последствия пружинной ленты из азотсодержащей стали X21Г10Н7МБФ // МиТОМ. – 2006. – № 1. – С. 8-10.
2. Грачев С.В. О структурном механизме релаксации напряжений в метастабильных сплавах // МиТОМ. – 2005. – № 7. – С. 38-44.
3. Зубов В.Я. Структура и свойства стальной пружинной ленты / В.Я. Зубов, С.В. Грачев. – М.: Металлургия, 1964. – 223 с.
4. Мальцева Л.А. Свойства метастабильной стали 03X14N11K5M2ЮТ после термопластической обработки // МиТОМ. 2009. – №11. – С. 45-50.
5. Рахштадт А.Г. Пружинные стали и сплавы. М.: Металлургия, 1971. – 496 с.

Тюменский государственный архитектурно-строительный университет, архитектурно-строительный факультет, кафедра строительных конструкции,
Россия, Тюмень, adf@tgasu.ru

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ ПЕСЧАНОГО АРМИРОВАННОГО МАССИВА В ВОДОНАСЫЩЕННОМ ГЛИНИСТОМ ГРУНТЕ

В статье описаны результаты экспериментально-теоретических исследований работы песчаного армированного массива в водонасыщенном глинистом грунте. Дана сравнительная оценка на основе лабораторных экспериментальных и теоретических данных по несущей способности основания усиленного песчаным армированным массивом различной длины. Приведены результаты экспериментальных и теоретических исследований работы песчаного армированного массива, осадки массивов различной длины, а так же расчетные значения распределений вертикальных перемещений в грунтовом основании.

Ключевые слова: песчаный армированный массив, геосинтетическая сетка, водонасыщенный глинистый грунт.

Территория Западной Сибири характеризуется сложными инженерно-геологическими условиями, где распространены водонасыщенные глинистые грунты. Строительство промышленных и гражданских сооружений на таких грунтах затруднено появлением значительных осадок, которые приводят к деформациям конструкций здания.

Армирование, как способ укрепления основания, получило широкое применение в строительстве, но проблемой развития этого направления является отсутствие опыта использования современных материалов, экспериментальных исследований, норм проектирования и технических условий. Поэтому исследование и разработка новых способов повышения несущей способности водонасыщенных оснований инженерных сооружений путём реализации новых схем армирования является актуальной задачей.

В работах [1,2] представлены экспериментальные исследования способа повышения несущей способности водонасыщенного глинистого основания, путем внедрения песчаных вертикально армированных массивов, под фундаментом мелкого заложения в основании сооружения.

В настоящей работе приведены результаты исследования несущей способности водонасыщенного глинистого основания с учетом внедрения песчаного массива различной длины, вертикально армированного по контуру геосинтетическим водопроницаемым элементом (геосеткой). Армирующий элемент (геосетка) изготавливается из стекловолокна, пропитанного комплексным полимерным составом. Технические характеристики геосинтетического материала приведены в табл. 1.

Таблица 1- Технические характеристики геосинтетического материала

Марка геосетки	Прочность на разрыв, кН/м		Размер ячейки, мм	Ширина рулона, см	Длина рулона, м
	Вдоль (основа)	Поперек (уток)			
ССП 30/30- 2,5(150)	30	30	2,5	150	100

Для выявления характера деформирования водонасыщенного глинистого основания, усиленного песчаным армированным массивом проведены серии экспериментальных исследований в лабораторном лотке с размерами в плане 1400×1400 мм и высотой 1700 мм с абсолютно жесткими стенками и дном. Общий вид экспериментальной установки представлен на рис. 1.



Рис. 1- Общий вид экспериментальной установки для исследования песчаного армированного массива

В качестве основания использовался водонасыщенный суглинок нарушенной структуры, который послойно укладывался в лоток. Грунт На каждый слой высотой $h=200$ мм прикладывалась нагрузка равная весу вышележащих слоев для обеспечения однородной структуры грунта. Высота основания была принята $H=1600$ мм. Физико-механические характеристики грунта приведены в табл. 2.

Таблица 2- Физико-механические свойства грунта

Удельный вес грунта, кН/м^3	Естественная влажность, %	Пластичность			Показатель текучести	Плотность сухого грунта, кН/м^3	Плотность частиц грунта, кН/м^3	Пористость	Коэффициент пористости, д.ед.	Коэффициент водонасыщения, д.ед.	Угол внутреннего трения, град.	Удельное сцепление, МПа	Модуль деформации, МПа
		Предел текучести	Предел раскатывания	Число пластичности									
19,4	27,0	27,0	12,0	15,0	1	15,3	27,0	43	0,77	0,95	17	0,005	2,06

Полость массива заполнялась водонасыщенным песком с последующим его уплотнением. Физико-механические характеристики песка приведены в табл. 3.

Таблица 3- Физико-механические характеристики песка

Удельный вес грунта, кН/м ³	Плотность сухого грунта, кН/м ³	Плотность частиц грунта, кН/м ³	Коэффициент пористости, д.ед.	Угол внутреннего трения, град.	Удельное сцепление, МПа	Модуль деформации, МПа
18,6	14,8	26,5	0,80	31	0,015	13,9

Поддержание влажности испытуемого грунта обеспечивалось при помощи наливания слоя воды высотой 3 см над поверхностью основания. Уровень воды над дневной поверхностью грунта сохранялся до конца эксперимента.

Экспериментальные исследования проводились в 3 этапа.

На первом этапе лабораторных испытаний были проведены исследования несущей способности водонасыщенного глинистого основания с учетом внедрения песчаного армированного массива с размерами: диаметр 227 мм, высота 600 мм.

Вертикальная нагрузка на основание передавалась при помощи редуктора. Для вычисления значения нагрузки передаваемой на шток через редуктор использовался динамометр образцовый на сжатие ДОСМ – 5. Нагрузка прикладывалась ступенями. Каждую ступень выдерживали до условной стабилизации деформации грунта. За критерий условной стабилизации деформации принимали скорость осадки штампа, не превышающую 0,1 мм за последние 2 часа. Нагрузка на сваю увеличивалась до развития предельных значений осадок. Осадка штампа замерялась при помощи датчиков измерения перемещений с точностью измерений 0,01 мм, установленных в четырех точках. Деформации массива измерялись при помощи глубинных марок, которые устанавливались на проектную глубину при помощи внедряющей металлической трубки.

На втором и третьем этапах лабораторных исследований были проведены исследования несущей способности водонасыщенного глинистого основания с учетом внедрения песчаного армированного массива с размерами: диаметр 227 мм, высота 800 мм и 1000 мм.

По окончании экспериментов грунт послойно удалялся из лотка, при этом измерялись поперечные размеры песчаного армированного массива.

Максимальное значение поперечной деформации песчаного армированного массива высотой Н=600 мм составило 60 мм, Н=800 мм – 46 мм, Н=1000 мм – 40 мм.

В результате проведенных экспериментов построены графики зависимости «осадка-давление», экспериментальных значений и результатов расчета в программном комплексе Plaxis, представленные на рис 2.

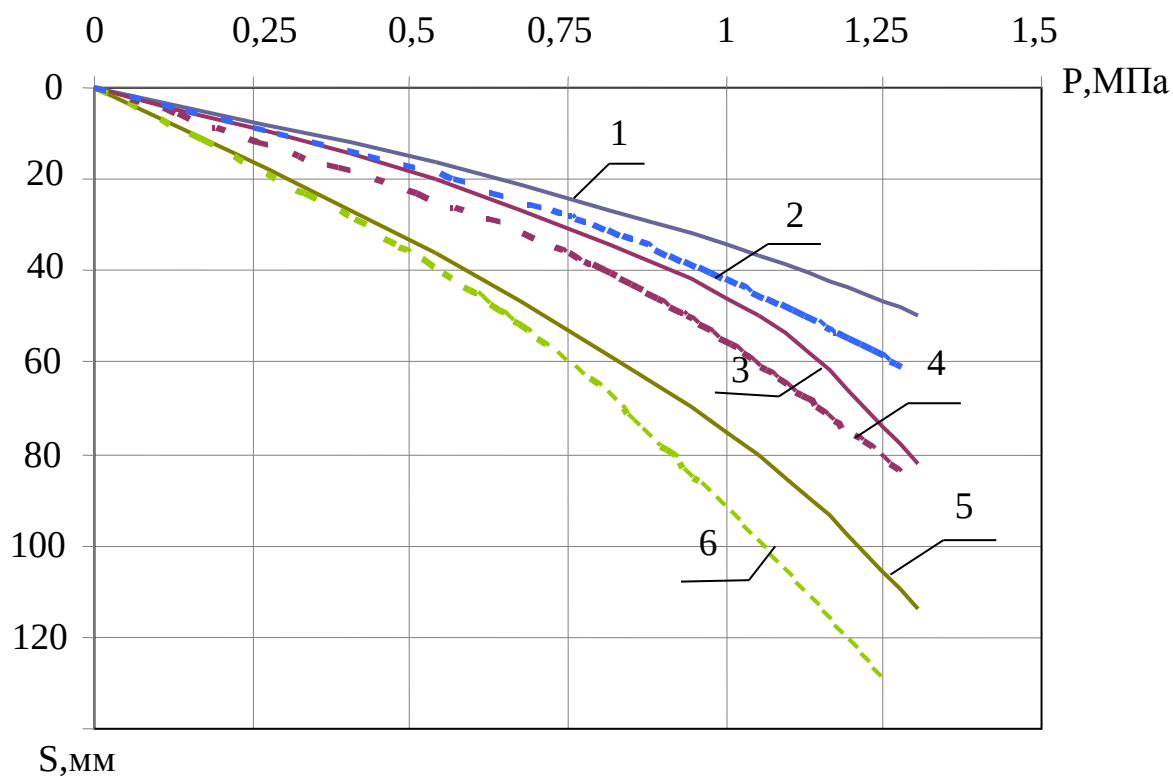


Рис. 2- Экспериментально-теоретический график «осадка-давление»:
 1 – экспериментальные значения (H=1000 мм); 2 – расчет по программе Plaxis (H=1000 мм); 3 – экспериментальные значения (H=800 мм); 4 – расчет по программе Plaxis (H=800 мм); 5 – экспериментальные значения (H=600 мм); 6 – расчет по программе Plaxis (H=600 мм).

Прогноз вертикальных перемещений водонасыщенного глинистого грунта, усиленного песчаным армированным массивом осуществлялся в программном комплексе Plaxis. При расчете использовалась упругопластичая модель Мора-Кулона. Размер расчётной области принимался равным размерам грунтовой модели. Сопоставление экспериментальных и расчётных значений вертикальных перемещений показаны на рис 3.

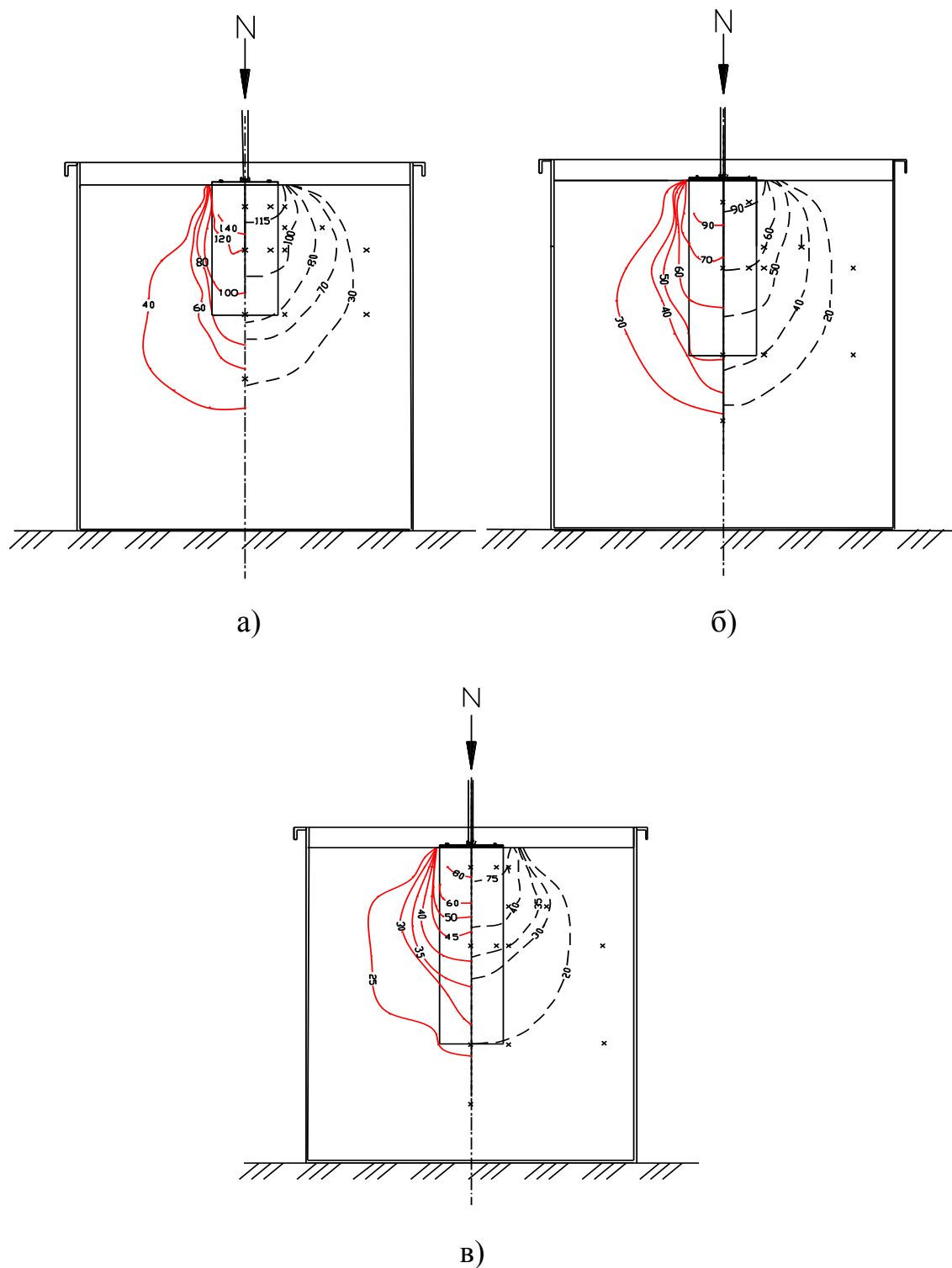


Рисунок 3. Сопоставление экспериментальных (- - -) и расчётных (—) значений вертикальных перемещений грунта, усиленного песчаным армированным массивом:
а – $H=600$ мм; б – $H=800$ мм; в – $H=1000$ мм.

Область развития максимальных вертикальных перемещений оценивалась по фиксированной глубине. Фиксированная глубина выбиралась из условия развития максимальной области вертикальных перемещений по оси песчаного армированного массива и составила 400 мм.

Анализ экспериментальных данных и результатов, полученных расчётным путём позволил сделать следующие выводы:

- конечная осадка дневной поверхности грунтового массива из водонасыщенного глинистого грунта, усиленного песчаным армированным массивом высотой $H=600$ мм при нагрузке $P=0,13$ МПа составила $S=113,8$ мм, усиленного песчаным армированным массивом высотой $H=800$ мм при нагрузке $P=0,13$ МПа составила $S=82$ мм, усиленного песчаным армированным массивом высотой $H=1000$ мм при нагрузке $P=0,13$ МПа составила $S=50,1$ мм;

- экспериментальные данные и расчётные значения распределения вертикальных перемещений в грунтовом основании с внедрённым песчаным армированным массивом показали, что расхождения значений вертикальных перемещений на фиксированной глубине $H = 400$ мм составили:

 - для массива $H=600$ мм составило 12%;

 - для массива $H=800$ мм составило 13%;

 - для массива $H=1000$ мм составило 17%;

- максимальное расхождение экспериментальных и теоретических значений осадки песчаного армированного массива при фиксированном давлении $P=0,13$ МПа составила 13% ,

- увеличение длины песчаного армированного массива, внедренного в водонасыщенный глинистый грунт приводит к снижению осадки и увеличению предельной нагрузки на штамп.

Список литературы:

1. *Бай, В.Ф.* Экспериментальное исследование песчаной, армированной по контуру сваи на водонасыщенном основании // Труды международной конференции «Геотехнические проблемы XXI века в строительстве зданий и сооружений». II Академические чтения имени профессора А.А. Бартоломея. – Пермь, 2007. – С.8-12.

2. *Бай, В.Ф.* Повышение несущей способности слабых водонасыщенных глинистых грунтов путем использования песчаных армированных свай // Международная конференция по геотехнике «Развитие городов и геотехническое строительство» / Под редакцией профессора В.М. Улицкого. – С-Петербург, 2008. Том 4. – С.551-553.

Д.В. Никольский к.т.н.

Петербургский государственный университет путей сообщения,
механический факультет, кафедра теплотехники и теплосиловых установок,
Россия, Санкт-Петербург, dnikolsky@pgups.ru

ВКЛАД ТРАНСПОРТНОЙ НАУКИ В РАЗВИТИЕ ТЕХНИЧЕСКОЙ ТЕРМОДИНАМИКИ. БЕТАНКУР И КЛАПЕЙРОН КАК ОСНОВОПОЛОЖНИКИ ТЕПЛОТЕХНИКИ В РОССИИ

В работе представлены результаты изучения работ ученых Института корпуса инженеров путей сообщения (ныне Петербургский государственный университет путей сообщения) в области теплотехники. Дан сравнительный анализ их вклада в развитие термодинамики. Приведены описания инженерных изобретений.

Ключевые слова: теплотехника, техническая термодинамика, паровая машина.

Как известно, в начале XIX века практика машиностроения опережала теорию в части создания наиболее передовой техники для своего времени – парового двигателя. Теория теплорода, разделяемая Ньютоном, Фурье и Лапласом, тормозила понимание принципа эквивалентности теплоты и работы.

К основоположникам теплотехники в России по практическому направлению можно отнести, прежде всего, И.И.Ползунова (1728-1766), Барнаул], одного из изобретателей теплового двигателя, создателя первой в России паросиловой установки. Больших успехов добились механики Нижнетагильских заводов Е.А. и М.Е.Черепановы, сконструировавшие в 1834 г. первый русский паровоз.

В теоретическом направлении существенный вклад был сделан М.В.Ломоносовым (1711-1765). В своей диссертации «Размышление о причине теплоты и холода» (1744-1747 г.г.), а также в труде «Рассуждение о твердости и жидкости тел» (1760 г.) он отвергал господствовавшую в XVIII веке теорию теплорода и утверждал, что «тепло состоит во внутреннем движении вещества».

К первым ученым, объединившим в своем творчестве оба направления, можно отнести выдающегося испанско-российского ученого и инженера А.А.Бетанкура.

Организатор Петербургского государственного университета путей сообщения (тогда Института корпуса инженеров путей сообщения) Августин Августинович Бетанкур разработал оригинальный проект паровой машины двойного действия, был пионером внедрения в России парового привода на транспорте, создав в 1811 году драгу – плавучее сооружение с комплексом оборудования, предназначенного для очистки дна кронштадского порта.



Рис.1. Августин Августинович Бетанкур (1758 – 1824)

Необходимо отметить, что первый патент на пароход Д.Фитча датируется 1791, годом, первый пароход «*North River Steamboat*» по проекту Р.Фултона с паровым двигателем фирмы Болтона-Уатта появился в 1806 году, а первое паровое судно-стимбот на базе баржи тихвинской системы с балансирной паровой машиной Уатта для навигации по Неве было пущено Ч.Бердом в 1815 году. Другими словами, А.Бетанкур, уступая первенство в мировом пароходостроении, является пионером в данной области в нашей стране. Добавим, что испанец по происхождению, А.Бетанкур является первопроходцем воздухоплавания в Испании [1].

Драга Бетанкура была снабжена паровым приводом собственной системы и оригинальной разработкой механического привода ковшей, позволявшей повысить производительность в 12 раз по сравнению с имевшимися аналогами своего времени [2].

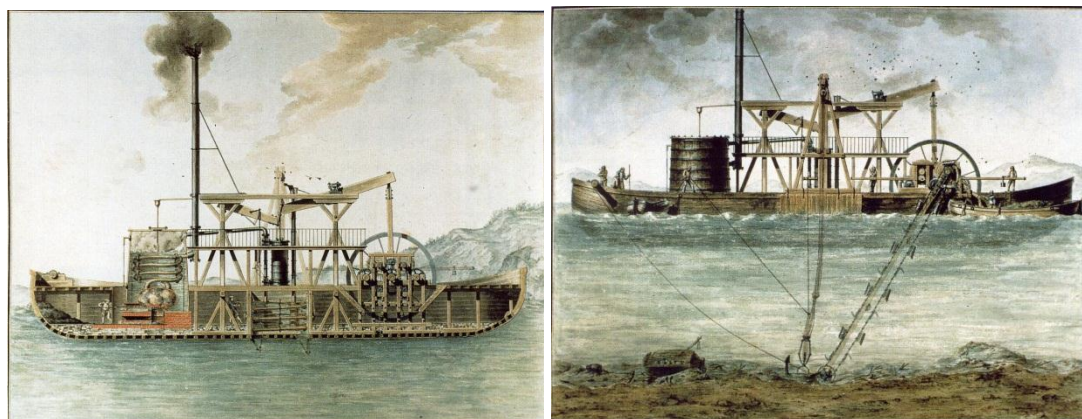


Рис. 2. Проект драги А.Бетанкура (рисунок автора)

Теоретические труды А.Бетанкура о взаимосвязи основных параметров состояния термодинамической системы и градуировке термометра носили пионерский характер в части исследования не идеального газа, а реального рабочего тела – водяного пара. Им написаны работы «*Mémoire sur une machine à vapeur à double effet*» – «Мемуар о паровой машине двойного действия» предоставленный в 1789 году в Академию наук Франции, а также «*Mémoire sur la force expansive de la vapeur de l'eau*» – «Мемуар о силе расширения водяного пара», опубликованный в конце 1790 года.

Историческая роль трудов А.Бетанкура состояла в попытке сближения теоретических положений с практикой машиностроения, достигнутая лишь спустя сто лет Я.Д.Ван-дер-Ваальсом в диссертации «*Over de Continuïteit van den Gas – en vloeistoofteestand*» – «О непрерывности газообразного и жидкого состояния». В нем впервые была показана качественная оценка отличия закономерностей состояния реального газа от идеальной модели. За это достижение Ван-дер-Ваальс получил в 1910 г. Нобелевскую премию по физике «за работу над уравнением состояния газов и жидкостей».

Выдающийся механик, в дополнение к полученному во Франции и Англии инженерному образованию, прошедший обучение в Королевской академии изящных искусств Сан-Фернандо в Мадриде, А.А.Бетанкур придавал большое значение черчению и был автором многих чертежей и технических рисунков.

В 1823/24 учебном году в институте вводится новый предмет «Прикладная механика», в основу которого легло «учение о двигателях и приемниках сил». Это положило начало изучению в России «механического искусства», в том числе и паровых машин. Обучение велось на французском языке. А.А.Бетанкур, воспитавший плеяду блестящих учеников, привлек к работе в своем институте талантливых выпускников Политехнической школы Парижа – Габриеля Ламе и Бенуа Поля Эмиля Клапейрона – по написанию того

времени, официально нареченных «Гаврило Францов Ламэ и Эмилий Клавдиев Клапейрон»[3]. Бетанкур передал Клапейрону курсы прикладной механики и химии, в которых освещались проблемы получения, передачи, преобразования и использования энергии в различных формах.

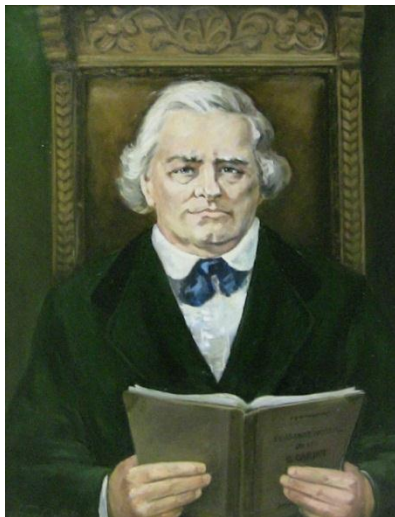


Рис.3. Эмилий Клавдиевич Клапейрон (1799 – 1864)

После возвращения на родину, став профессором Парижской школы мостов и дорог, Клапейрон продолжил развивать данное направление. Ознакомившись с работой С.Карно «*Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance*» – «Размышления о движущей силе огня и о машинах, способных развивать эту силу» (1824 г.), Клапейрон приложил к изложенным там идеям графический метод изображения термодинамических процессов, перенятый им у блестяще владевшего инженерной графикой А.Бетанкура и давший важнейшие результаты. Впоследствии, Клапейроном были сформулированы уравнение состояния идеального газа (известное в отечественной литературе как уравнение Менделеева-Клапейрона) и связь температуры плавления вещества с давлением (уравнение Клапейрона-Клаузиуса).

На основе работ С.Карно, Б.Клапейрона, Ю.Майера и Дж.Джоуля, Рудольф Клаузиус в 1850 году предложил количественные формулировки первого и второго начала термодинамики.

Следует отметить, что вклад А.Бетанкура в построение логической структуры термодинамики, до настоящего времени не попадавший под пристальное внимание исследователей, может претендовать на более высокую оценку его значимости в истории науки.

Список литературы:

1. *Никольский Д.В.* Августин Бетанкур. Промышленный переворот в Испании и России первой половины XVIII – первой четверти XIX века: монография. – СПб: Петербургский гос. ун-т путей сообщения, 2009. – С. 40-43.
2. Betancourt. Los inicios de la ingeniería moderna en Europa // Colección Ciencias, Humanidades e Ingeniería. 1996. № 54. P. 268-271.
3. История Петербургского государственного университета путей сообщения: В 2 томах, 3 книгах. Т1. *Ларионов А.М.* История института инженеров путей сообщения Императора Александра I-го за первое столетие его существования. 1810-1910 – СПб.: Петербургский государственный университет путей сообщения, 2009. – С. 64-92.

Д.С. Новиков, А.И. Яманин д.т.н.

Ярославский государственный технический университет,
автомеханический факультет, кафедра «Двигатели внутреннего сгорания»,
Россия, Ярославль
NovikovDS81@gmail.com

СНИЖЕНИЕ ВИБРОАКТИВНОСТИ СИЛОВОГО АГРЕГАТА АВТОМОБИЛЯ ЗА СЧЕТ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОГО ПОРЯДКА РАБОТЫ ДВИГАТЕЛЯ

В статье рассматривается возможность улучшения вибрационных свойств силового агрегата (двигатель + сцепление + коробка передач) за счет изменения порядка работы цилиндров двигателя. На основании проведенных расчетных исследований порядков работы двигателя 8 ЧН 13/14 были даны рекомендации по изменению порядка работы цилиндров.

Ключевые слова: вибрационная активность, порядок работы цилиндров двигателя, силовой агрегат.

В настоящее время к двигателю внутреннего сгорания выдвигаются жесткие требования, связанные с ограничением его вредного влияния на окружающую среду и человека. Однако разработка и производство принципиально нового двигателя требует огромных материальных и временных затрат. Существует мнение, что создать новый двигатель могут только отдельные страны [1]. В связи с этим многие конструкторские и исследовательские работы ориентированы на улучшение свойств уже существующих двигателей. Внесение изменений в уже выпускающиеся двигатели также требует значительных капиталовложений. Поэтому на первый план выходят такие улучшения конструкции, которые при минимальных изменениях в структуре двигателя значительно повышают эксплуатационные или экологические показатели.

Одним из таких решений по улучшению вибрационных характеристик силового агрегата является выбор оптимального порядка работы цилиндров (ПРЦ) двигателя. В настоящее время для V-образных восьмицилиндровых двигателей с равномерным чередованием вспышек в цилиндре через 90° поворота коленчатого вала принят ПРЦ 1-5-4-2-6-3-7-8. Данный порядок неоднократно критиковался за то, что происходит последовательное (через 90°) срабатывание цилиндров, расположенных в одном ряду [2]. Для указанных двигателей существует восемь таких порядков (рис.1, римские цифры).

1– 5– 4– 2– 6– 3– 7– 8 I
1– 5– 4– 8– 6– 3– 7– 2 II
1– 5– 7– 2– 6– 3– 4– 8 III
1– 5– 7– 8– 6– 3– 4– 2 IV
1– 3– 4– 2– 6– 5– 7– 8 V
1– 3– 4– 8– 6– 5– 7– 2 VI
1– 3– 7– 2– 6– 5– 4– 8 VII
1– 3– 7– 8– 6– 5– 4– 2 VIII

Рис. 1- Возможные порядки работы восьмицилиндрового V-образного двигателя при условии равномерного чередования вспышек в цилиндре через каждые 90° поворота коленчатого вала

Проведенные специалистами НАМИ М.М. Абрамишвили, Б.М. Енукидзе теоретические и экспериментальные исследования показали, что за счет изменения ПРЦ двигателя можно снизить нагрузки в зоне 4-го коренного подшипника и улучшить равномерность распределения усилий на опоры коленчатого вала [3,4]. Если с точки зрения прочности и динамики оценка влияния изменения ПРЦ уже проводилось, то его воздействие на вибрационные свойства еще не были изучены.

С целью выбора оптимального порядка работы с точки зрения вибрационных характеристик силового агрегата с двигателем 8 ЧН 13/14 было проведено расчетное исследование по уточненной авторами методике, предложенной М.Е. Павловым [5]. Для этого разработана новая модель, в которой (в отличие от модели М.Е. Павлова) учтены шатунно-поршневые группы всех цилиндров, наличие головок цилиндров, маховика, картера маховика, крышки шестерен распределения, сцепления и коробки передач. Силовой агрегат установлен на шесть виброизолирующих опор.

В качестве источника вибрации учтен только рабочий процесс двигателя на режиме номинальной мощности ($n_{ном}=1900 \text{ мин}^{-1}$). Зависимость возбуждающей силы по времени была получена при помощи индцирования одного цилиндра двигателя 8 ЧН 13/14 при его работе на моторном стенде. Рассматривалось два пути распространения вибрационного импульса от источника к опорам двигателя: через кривошипно-шатунный механизм и коренные опоры блока цилиндров и через головки блока цилиндров и стенки корпусных деталей.

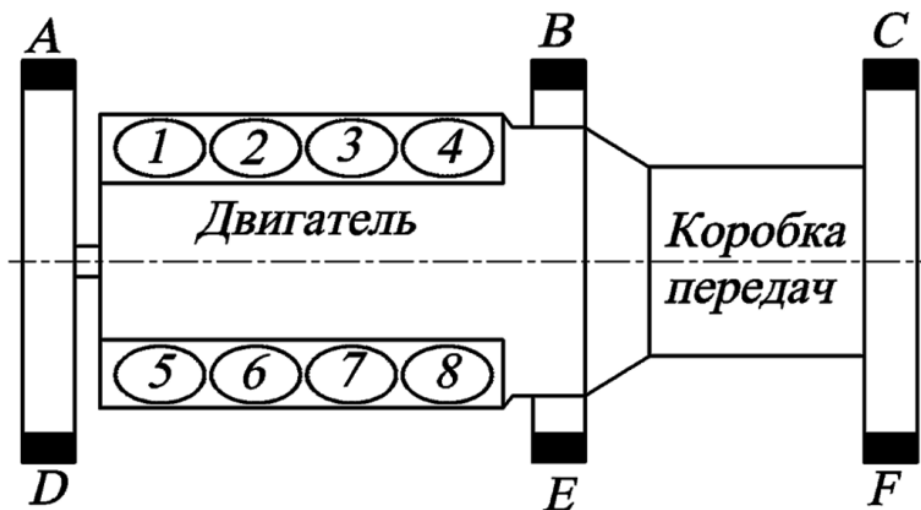


Рис. 2- Схема расположения виброизолирующих опор

При поиске наилучшего варианта чередования вспышек в цилиндре был принят критерий оптимальности K , который для выбранных точек на виброизолирующих опорах силового агрегата (Рис.2) определяется следующим образом:

$$K = \frac{a_n}{a_I};$$

где a_n – среднеквадратичное значение (СКЗ) виброускорения для ПРЦ от II до VIII (рис.1), м/с^2 ;

a_I – СКЗ виброускорений для I-го ПРЦ (рис.1), м/с^2 .

Расчеты показали, что с точки зрения вибрационных характеристик традиционный порядок работы 1-5-4-2-6-3-7-8 не является самым худшим вариантом ($K=1$ для всех виброизолирующих опор). Самыми неблагоприятными оказались ПРЦ VII и VIII, поэтому рассматривать их далее не имеет смысла. А самые лучшие результаты показали ПРЦ III и V

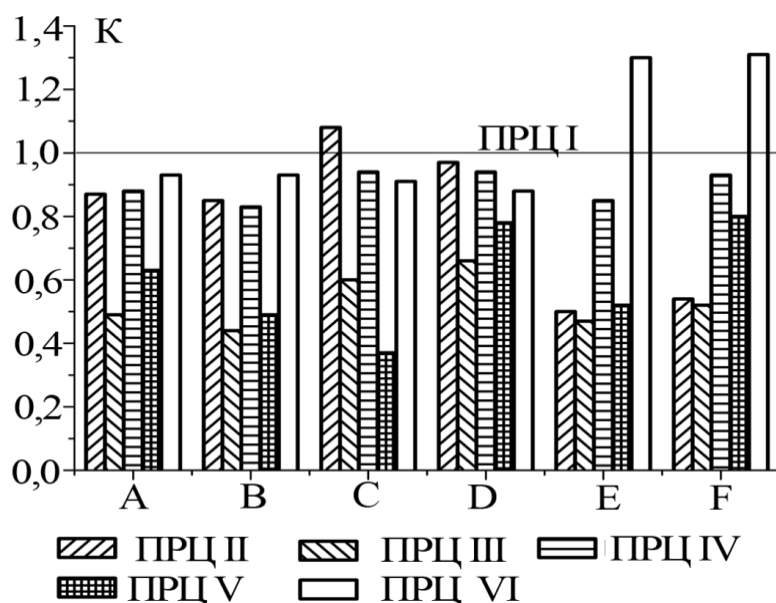


Рис. 3- Изменение коэффициента К на лапах виброизолирующих опор двигателя в вертикальном направлении.

М.М. Абрамишвили, Б.М. Енукидзе [2,3] с точки зрения прочности были рекомендованы ПРЦ III и VII (рис.3). Если ПРЦ VII с точки зрения вибрационных характеристик является одним из худших, то применение другого рекомендованного варианта позволит не только улучшить вибрационные характеристики, но и снизить нагрузки (около 9%) на 4-ый коренной подшипник коленчатого вала.

По нашему мнению, применение ПРЦ III является предпочтительным, так как является одним из оптимальных по вибрационным характеристикам, но и снижает нагрузки на детали.

Список литературы:

1. Пономарев В. Мотор! Мотор?.. / СБ. Беларусь сегодня [Электронный ресурс].- Режим доступа <http://www.sb.by/article.php?articleID=41730> (дата обращения 19.11.2010).
2. Яманин А.И. Динамика поршневых двигателей [Текст]/А.И. Яманин, А.В. Жаров.- М.: «Машиностроение», 2003 – 468с.
3. Абрамишвили М.М. Опыт доводки двигателя при определении порядка работы цилиндров/ М.М. Абрамишвили, Б.М. Енукидзе [Текст]//Двигателестроение. – 1986. - №2. С. 51-53.
4. Абрамишвили М.М. Влияние порядка работы цилиндров V-образного восьмицилиндрового двигателя на нагруженность опор коленчатого вала [Текст]/ М.М. Абрамишвили, Б.М. Енукидзе//Автомобильная промышленность. – 1983. - №8.-С.8-9.
5. Павлов М.Е. Разработка метода анализа вибрационного состояния дизельных двигателей [Текст]: Дис. ... канд. техн. наук: 05.04.02/ Михаил Евгеньевич Павлов– Ярославль, 2005. – 127с.

Снежинский физико-технический институт филиал Национального Исследовательского
Ядерного Университета Московский Инженерно-физический институт (МИФИ), кафедра
«Технология машиностроения»,
Россия, г. Снежинск
orlov74@yandex.ru

МЕТОДИКА ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ МНОГОПРОХОДНОЙ ОБРАБОТКИ НА СТАНКАХ С ЧПУ

В работе представлены теоретические и практические результаты по управлению режимами резания при обработке деталей на станках с ЧПУ. Особое внимание уделено многопроходной обработке. Для которой описывается теория нахождения оптимального плана обработки по критерию максимальной производительности.

Ключевые слова: станки с ЧПУ, многопроходная обработка, оптимальные режимы резания.

Современные станки с ЧПУ имеют большие технологические возможности, поэтому на них обрабатывается весьма широкая номенклатура деталей, что требует значительного варьирования режимов резания.

Использование станков с ЧПУ в условиях автоматизированного производства предъявляет повышенные требования к качеству задаваемых в управляющей программе режимов резания, которые необходимы для обеспечения стабильной обработки деталей с требуемыми параметрами по точности, шероховатости и производительности. Определение таких режимов резания возможно лишь на основе достоверного математического моделирования процессов обработки на металлорежущих станках.

Для обеспечения адекватности математических моделей и учета всего многообразия и сложного характера взаимодействия факторов, разрабатываемые модели должны вскрывать механизм явлений в описываемом процессе, то есть основным методом их построения является использование основополагающих гипотез и фундаментальных законов естествознания

В основу модели точности механической обработки, описывающей механизм формирования погрешности обработки, были приняты законы силового взаимодействия между технологической системой и обрабатываемой деталью. Данная модель строится, исходя из: теории координатной связи между элементами технологической системы [1], а также условий равенства работ активных и реактивных сил и законов теории пластичности, то есть с учетом физико-механических свойств обрабатываемого и инструментального материалов, величины площадки износа по задней поверхности инструмента, режимов резания и геометрии инструмента [2].

Для обеспечения заданной точности обработки с наиболее оптимальными, для данных условий, режимами резания, для точения разработана математическая модель управления подачей, с помощью которой можно обеспечить заданную точность механической обработки. Данная модель функционально связывает глубину резания и подачу с податливостью технологической системы, а также с точностью детали и заготовки:

$$S = \frac{\frac{\Delta_d}{\Delta_3} - C_z \cdot \frac{W_z \cdot K_2}{\sin \varphi} - C_y \cdot \frac{W_y \cdot K_2}{\tan \varphi} - C_x \cdot W_x \cdot K_x}{W_z \cdot A_z \cdot K_1 + W_z \cdot A_y \cdot K_1 \cdot \cos \varphi + W_x \cdot A_x \cdot K_1 \cdot \sin \varphi},$$

где: Δ_d и Δ_z – значения допусков размеров детали и заготовки соответственно; W_y , W_z , W_x – коэффициенты, зависящие от величины податливости технологической системы по осям y , z , x соответственно; C_z , C_y , C_x – коэффициенты, зависящие от угла действия, угла сдвига при резании, степени износа режущего инструмента; K_1 – коэффициент, выражающий допустимую долю погрешности обработки, зависящую от режимов резания в суммарной погрешности обработки; K_2 – коэффициент учитывающий относительные колебания износа инструмента, твердости обрабатываемого материала, податливости технологической системы; φ – главный угол в плане инструмента.

Для проверки адекватности данной модели был проведён статистический анализ точности обработки с данными подачами нескольких партий деталей на токарном станке с ЧПУ модели 16K20Ф3 в условиях действующего производства. Результаты анализа показали, что полученная модель верно отражает влияние технологических параметров процесса механической обработки на разброс размеров в партии обрабатываемых деталей (расхождение действительных размеров и теоретически рассчитанных значений не превышало 10 – 15 %).

Для учета влияния различных технологических факторов процесса обработки на количество переходов и режимы резания разработана система ограничений, налагаемая условиями обработки и параметрами технологической системы: прочностью и жёсткостью державки используемого инструмента, прочностью его режущей пластины, мощностью привода главного движения станка, прочностью его механизма подач, шероховатостью обработанной поверхности детали.

С учётом вышеуказанных ограничений на основе метода динамического программирования – разработан алгоритм определения оптимального количества переходов, который предполагает направленный перебор всех возможных вариантов получения заданной точности детали из заданной точности заготовки.

Данная задача представляет собой задачу нахождения кратчайшего или наиболее оптимального пути в ориентированном графе. Начальной вершиной данного графа является квалитет или точность изготовления заготовки, а конечной квалитет или точность изготовления готовой детали.

При этом в качестве функции цели принято время цикла автоматической работы станка по программе, определяющее производительность процесса и оказывающее решающее влияние на технологическую себестоимость обработки детали на станке.

Компьютерное моделирование процесса формирования точности обработки детали при одном, двух, трёх, и т. д. числе переходов в условиях выполнения операции на одном станке, одним и тем же инструментом показывают, что заданная точность обработки может быть получена, либо путём обработки на малых минутных подачах за один переход, либо путём (постепенного) многократного уточнения за несколько переходов.

При этом на каждом из переходов используются более высокие минутные подачи, поэтому значение функции цели времени цикла автоматической работы станка по программе будет часто меньше, чем за один переход. То есть при определённых условиях всегда можно найти оптимальное, по заданному критерию, количество переходов, при которых заданное значение функции цели будет минимальным.

При проектировании операции и назначении оптимального количества переходов следует учитывать технологические факторы, влияющие на точность механической обработки и на количество переходов.

Для определения степени влияния был произведён компьютерный эксперимент с математическим моделированием зависимости количества переходов от различных технологических факторов. Было установлено, что наибольшее влияние на количество

переходов оказывают: жёсткость технологической системы, геометрические особенности обрабатываемой детали, геометрические параметры режущего инструмента, физико-механические свойства обрабатываемого материала.

Варьирование вышеперечисленными факторами позволило установить точки равных времён, в которых время цикла автоматической работы станка по программе за “n” и за “n+1” переходы одинаково. Например, время трёхпереходной и четырёхпереходной обработки будет одинаковым. Для нахождения множества этих точек, а, следовательно, и определения условий, в которых будет производительнее осуществляться обработка, например, трёхпереходная обработка, а в каких четырёхпереходная (или другие варианты) был использован метод нахождения экстремума функции квадратичной интерполяции – экстраполяции.

Данный метод позволил получить множество точек равных времён, для их обобщения и математического описания был использован аппарат регрессионного анализа, который позволил получить степенные зависимости, описывающие данные точки. Таким образом, определяются условия, при которых выгоднее выполнять определенное количество технологических переходов.

По результатам теоретических исследований и их практической проверки разработаны математические модели и алгоритмы, которые в зависимости от разных исходных данных позволяют определить оптимальное, с точки зрения максимальной производительности, количество переходов.

Разработанная методика определения количества переходов проверялась на адекватность в условиях действующего производства, производилось сравнение времени затраченного на обработку сейчас со временем, рассчитанным по данной методике. Результаты показывают увеличение производительности обработки на 25...30% при использовании результатов работы.

Использование разработанных математических моделей процесса обработки особенно эффективно в случае применения станков оснащенных проектирующе-управляющими системами, в которых задачи программирования обработки и назначения режимов резания решены на достаточно высоком уровне.

Список литературы:

1. *Базров Б.М.* Основы технологии машиностроения. - М.: Машиностроение, 2005.- 736 с.
2. Системы автоматизированного проектирования технологических процессов приспособлений и режущих инструментов. / Под ред. *С.Н.Корчака*, М.: Машиностроение, 1988.– 352с.

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

К МЕТОДУ ФУНКЦИОНАЛОВ ЛЯПУНОВА В ЗАДАЧЕ ОБ УСТОЙЧИВОСТИ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ С РАЗРЫВНОЙ ПРАВОЙ ЧАСТЬЮ

Исследуется устойчивость разрывных функционально-дифференциальных уравнений с разрывной правой частью. Представлено развитие прямого метода Ляпунова для таких систем с использованием знакопостоянных функционалов.

Ключевые слова: функционал Ляпунова, разрывное функционально-дифференциальное уравнение, устойчивость, нелинейность.

1. Основные определения.

Рассмотрим систему, описываемую функционально-дифференциальным уравнением [3, 6]

$$\dot{x}(t) = f(t, x_t), \quad (1.1)$$

где $x \in R^n$, R^n – n -мерное действительное линейное пространство с некоторой нормой $\|x\|$, $h > 0$ – заданное действительное число, C – банахово пространство непрерывных функций $\varphi: [-h, 0] \rightarrow R^n$ с нормой $\|\varphi\| = \max_{-h \leq s \leq 0} \|\varphi(s)\|$, $C_H = \{\varphi \in C : \|\varphi\| < H, 0 < H < \infty\}$; функция $x_t \in C$ определяется равенством $x_t(s) = x(t+s)$ ($-h \leq s \leq 0$), $D \subset C$ – открытое множество, а $f: R \times D \rightarrow R^n$, $f(t, 0) \equiv 0$ есть некоторое отображение, так что система (1.1) имеет нулевое решение $x(t) \equiv 0$. Будем полагать, что f является кусочно-непрерывной в области $R \times D$, если D можно представить в виде $D = D_0 \cup M$, $D_0 = D_1 \cup D_2 \cup \dots \cup D_l$, при этом $f(t, x_t)$ непрерывна в каждой подобласти $R \times D_j$ ($j = \overline{1, l}$), мера множества M равна нулю и для каждого $t \in R$ существует конечный предел $\{f(t, \varphi_k)\}$ при $\varphi_k \rightarrow \varphi \in M$.

Введём функцию $F(t, \varphi)$, совпадающую с $f(t, \varphi)$ для точек $(t, \varphi) \in R \times D_0$, и доопределим $F(t, \varphi)$ тем или иным образом для $(t, \varphi) \in R \times M$. Независимо от доопределения, будем полагать, что выполнено условие

$$\forall x \in F(t, \varphi) \quad |x| \leq M \quad \forall (t, \varphi) \in R \times \overline{C}_{H_1} \quad (0 < H_1 < H).$$

Соответственно уравнению (1.1) может быть рассмотрено дифференциальное включение

$$\dot{x}(t) \in F(t, x_t) \quad (1.2)$$

так что решением уравнения (1.1) называется абсолютно непрерывная функция $x = x(t)$, определённая на интервале I , для которой почти всюду на I имеет место соотношение $\dot{x}(t) \in F(t, x_t)$.

Пусть $V: R \times C_H \rightarrow R$ есть непрерывный функционал Ляпунова, а $x(t)$, $x_\alpha = \varphi$ – некоторое решение включения (1.2). $V(t) = V(t, x_t)$ представляет собой непрерывную функцию времени $t \geq \alpha$.

Верхней правосторонней производной от V вдоль решения $x = x(t)$ включения (1.2) называется выражение

$$\dot{V}^+(t, x_t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0+} \sup \frac{1}{\Delta t} [V(t + \Delta t, x_{t+\Delta t}) - V(t, x_t)]. \quad (1.3)$$

Если функционал $V = V(t, \varphi)$ инвариантно дифференцируем в точке $(t, \varphi) \in R \times C_H$ [2], тогда его производная может быть определена по формуле

$$\dot{V}^* = \sup_{y \in F(t, \varphi)} \left(\frac{\partial V}{\partial t} + \sum_{i=1}^n \frac{\partial V}{\partial x_i}(t, \varphi) y_i + \partial V_\varphi \right). \quad (1.4)$$

При этом справедливы классические теоремы об устойчивости нулевого решения (1.2) и, соответственно, уравнения (1.1) [5].

2. Развитие прямого метода Ляпунова.

При рассмотрении задач об определении свойств устойчивости обычно полагают, что для непрерывного функционала $V(t, \varphi)$ его производная, определённая по формулам (1.3) или (1.4) удовлетворяет неравенству вида $\dot{V}(t, \varphi) \leq -W(t, \varphi) \leq 0$.

В специальном случае, когда функционалы V и W не зависят явно от времени, могут быть доказаны теоремы о равномерной (асимптотической) устойчивости решения $x = 0$ уравнения (1.1), на основе введения следующих определений.

Определение 2.1. Решение $x = 0$ включения (1.2) *равномерно устойчиво относительно множества* $\{V(\varphi) = 0\}$, если $\forall \varepsilon > 0 \quad \exists \delta = \delta(\varepsilon) > 0 \quad \forall \alpha \geq 0 \quad \forall \varphi \in \{\|\varphi\| < \delta\} \cap \{V(\varphi) = 0\} \quad \forall t \geq \alpha \quad |x(t)| < \varepsilon \quad (x_0 = \varphi)$.

Определение 2.2. Решение $x = 0$ включения (1.2) *равномерно асимптотически устойчиво относительно множества* $\{V(\varphi) = 0\}$, если оно равномерно устойчиво относительно этого множества, а также $\exists \Delta > 0 \quad \forall \varepsilon > 0 \quad \exists T = T(\varepsilon) > 0 \quad \forall \varphi \in \{\|\varphi\| < \Delta\} \cap \{V(\varphi) = 0\} \quad \forall \alpha \geq 0 \quad \forall t \geq \alpha + T \quad |x(t)| < \varepsilon \quad (x_0 = \varphi)$.

Определение 2.3. Множество $M(c_0) = \{V(\varphi) = c_0 > 0\} \cap \{W(\varphi) = 0\}$ не содержит решений (1.2) *равномерно относительно* $\alpha \in R^+$, если $\exists T = T(c_0) > 0 \quad \forall \varphi \in M(c_0) \quad \forall t \geq \alpha + T \quad x_t \notin M(c_0)$.

Теорема 2.1. Допустим, что:

1. в области C_{H_1} ($0 < H_1 < H$) существует функционал Ляпунова $V(\varphi) \geq 0$ такой, что его производная в силу (1.2) $\dot{V}(t, \varphi) \leq 0$;
2. решение $x = 0$ (1.2) равномерно асимптотически устойчиво относительно множества $\{V(\varphi) = 0\}$.

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

Теорема 2.2. Допустим, что выполнены условия 1) и 2) теоремы 2.1, а также:

3. множество $\{V(\varphi) = c_0 > 0\} \cap \{W(\varphi) = 0\}$ не содержит решений включения (1.2) равномерно относительно $\alpha \in R^+$.

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

На основе дальнейшего усиления определений устойчивости $x = 0$ уравнения (1.1) по отношению к заданному множеству можно получить результаты в случае зависящих явно от t функционалов $V(t, \varphi)$ и $W(t, \varphi)$.

Через $a_i(y)$ обозначим функции типа Хана: $a_i(y)$ монотонно не убывающие, $a_i(0) = 0$ и $a_i(y) > 0$ при $y > 0$.

Теорема 2.3. Допустим, что:

1. в области $R^+ \times C_{H_1} (0 < H_1 < H)$ существует непрерывный функционал $V(t, \varphi) \geq 0$, $V(t, 0) \equiv 0$, $V(t, \varphi) \leq a_1(\|\varphi\|)$, производная которого в области $\{V(t, \varphi) > 0\}$ удовлетворяет неравенству

$$\dot{V}^*(t, \varphi) \leq a_2(V(t, \varphi));$$

2. решение $x = 0$ включения (1.2) равномерно асимптотически устойчиво относительно множества $\{V(t, \varphi) = 0\}$.

Тогда это решение равномерно асимптотически устойчиво.

Представленные теоремы обобщают разработанные в [1, 4] методы на системы функционально-дифференциальных уравнений запаздывающего типа с конечным запаздыванием, правая часть которых разрывна, а также дополняют классические результаты об устойчивости, доказанные в работе [5].

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ (проект МД-7549.2010.1) и ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» (гос. контракт № П/2230).

Список литературы:

1. Андреев, А.С. Устойчивость неавтономных функционально-дифференциальных уравнений / А.С. Андреев. – Ульяновск: УлГУ, 2005. – 328 с.
2. Ким, А.В. i-Гладкий анализ и численные методы решения функционально-дифференциальных уравнений / А.В. Ким, В.Г. Пименов. – М.-Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2004. – 256 с.
3. Куржанский, А.Б. О существовании решений уравнений с последействием / А.Б. Куржанский // Дифференциальные уравнения. – 1970. – Т. 6, № 10. – С. 1800-1809.
4. Павликов, С.В. Метод функционалов Ляпунова в задачах устойчивости / С.В. Павликов. – Набережные Челны: Изд-во Института управления, 2006. – 264 с.
5. Сурков, А.В. Об устойчивости функционально-дифференциальных включений с использованием инвариантно дифференцируемых функционалов Ляпунова / А.В. Сурков // Дифференциальные уравнения. – 2007. – Т. 43, № 8. – С. 1055-1063.
6. Liz E. Existence theory for first order discontinuous functional differential equations / E. Liz, R.L. Pouso // Proceedings of the american mathematical society. – 2002. – V. 130, N. 2. – P. 3301-3311.

Череповецкий государственный университет
Кафедра математических методов и информационных технологий в экономике,
Череповец, Россия,
it4san@gmail.com

ОБНАРУЖЕНИЕ АНОМАЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ В РЕЛЯЦИОННЫХ БАЗАХ ДАННЫХ НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННЫХ ИММУННЫХ СИСТЕМ С ОТРИЦАТЕЛЬНЫМ ОТБОРОМ

Используемые в настоящее время механизмы обеспечения безопасности реляционных баз данных основаны на возможностях операторов языка SQL и являются неоптимальными, поскольку неустойчивы к появлению новых видов атак, а также незащищены от злоумышленного воздействия легитимных пользователей. В данной статье рассматривается методика обнаружения поведенческих аномалий, основанная на применении алгоритма отрицательного отбора с варьируемым радиусом детекторов. Предлагаемый подход на основе анализа синтаксических особенностей построения запросов позволяет обнаруживать аномальное поведение, включая новые виды атак, с большей эффективностью, чем существующие методики.

Ключевые слова: обнаружение аномалий, отрицательный отбор, детекторы.

Проактивные меры обеспечения безопасности реляционных баз данных, основанные на средствах механизма авторизационных ролей, предоставляемых языком структурированных запросов SQL, не обеспечивают необходимого уровня защиты от злоупотребления правами легитимных пользователей. Традиционные подходы к обнаружению аномалий в базах данных базируются на идеях, изложенных в работе Дороти Деннинг [1] и основаны на поиске отклонений от неких среднестатистических значений набора значимых величин, составляющих характеристический вектор, принимаемый в качестве показателя взаимодействия пользователя с системой. Используемый при составлении характеристического вектора способ формализации не учитывает синтаксические особенности построения запросов, используя косвенные признаки, такие как время выполнения запроса, его длина, частота встречаемости определенных конструкций и другие [2][3][4]. Подобная методика не позволяет учитывать поведенческие характеристики при составлении профиля пользователя. Недостатком существующих методик также является необходимость предъявления образцов аномального поведения на стадии обучения системы.

Предлагаемый в настоящей работе алгоритм отрицательного отбора, применяемый при моделировании искусственных иммунных систем [5], например, в задачах обнаружения неисправностей техники [6], учитывает синтаксические особенности построения запроса в реляционной базе данных и позволяет использовать для обучения образцы только одного класса.

На этапе создания детекторов в алгоритме отрицательного отбора выполняется сопоставление случайно сгенерированных образцов с множеством эталонных значений, предъявленных системе на этапе обучения. Те детекторы, для которых результаты сопоставления оказались положительны, отвергаются. На этапе обнаружения аномалий, сгенерированный набор детекторов используется для проверки того, является ли предъявленный системе образец нормальным: если он совпадает с каким-либо детектором, то такой образец признается аномальным.

Алгоритм отрицательного отбора, использующий детекторы с варьируемым радиусом [7] работает с нормализованными векторами действительных чисел, где каждая характеристика является точкой в d -мерном гиперкубе $U = [0..1]^d$. Этап обучения, использующийся в алгоритмах обнаружения аномалий, заключается в предъявлении системе множества нормальных, эталонных образцов, априори не содержащих аномалий. Определим каждый эталонный запрос s_i как гиперсферу с центром в точке $c_i \in U$ и радиусом r_s , где U является d -мерным гиперкубом $[0..1]^d$. Таким образом $s_i = (c_i, r_s)$, $i = 1, \dots, l$, где l - число эталонных запросов. Иными словами, каждая точка из множества U , принадлежащая $S = \bigcup_{i=1}^l s_i$, будет считаться нормальной. Множество U является объединением $U = S \cup N$, где N – множество потенциально содержащих аномалии образцов запросов.

Для идентификации образцов, не являющихся нормальными в алгоритме отрицательного отбора, создается набор детекторов $d_j = (c_j, r_j) \in D, j = 1, \dots, m$, являющихся гиперсферами, где m – число детекторов. При этом ни один из детекторов не должен иметь точек пересечения ни с одним из нормальных образцов, предъявленных системе на этапе обучения, на основе выбранной методики сопоставления [8]. Основной задачей алгоритма отрицательного отбора для идентификации аномальных запросов является создание такого набора детекторов, который сможет распознать большинство возможных вариантов запросов, не принадлежащих множеству нормальных образцов при заданном максимальном количестве детекторов. Обозначив набор запросов, распознанных детектором d как $r(d)$, запишем это условие как

$$\bigcup_{d \in D} r(d) \approx N, \forall (d \in D)[r(d) \cap S = \emptyset].$$

Особенностью рассматриваемого алгоритма является то, что радиус r_j для детекторов не является фиксированным, в отличие от эталонных элементов, а вычисляется как Евклидово расстояние от случайно выбранного центра c_j до центра ближайшего эталона. Это расстояние должно превышать величину r_s , в противном случае детектор не создается. Определим формально r_j как

$$r_j = \min_{1 \leq i \leq l} \text{dist}(c_j, c_i) - r_s$$

Алгоритм останавливается по достижении заданного числа детекторов T_{max} .

Для применения аппарата искусственных иммунных систем, в частности алгоритма отрицательного отбора, необходимо решить задачу представления запросов в виде вектора действительных чисел фиксированной длины вне зависимости от вида и синтаксиса запроса. Используемый в алгоритме отрицательного отбора характеристический вектор будет основываться на результатах обхода построенного дерева синтаксического разбора запроса, и содержать категории, отражающие величины частот встречаемости хешей узлов данного дерева, представляя, таким образом, некий набор метрик запросов в заданном пространстве признаков, размерности d . При обходе дерева синтаксического разбора необходимо придерживаться выбранного алгоритма, позволяющего идентифицировать используемые конструкции для составления характеристического вектора. Встречаемые узлы при обходе дерева могут быть классифицированы в зависимости от их позиции и вида как принадлежащие множеству ключевых слов в синтаксисе языка SQL, имена таблиц, атрибутов, значения атрибутов и др., при этом тип каждого узла однозначно идентифицируется используемой грамматикой.

Конечное множество операторов языка SQL при использовании хеширования может быть отображено в пространство признаков формируемого вектора, что позволит привести исходные данные к виду, используемому иммунными алгоритмами, однако из-за наличия в

дереве синтаксического разбора узлов, содержащих значения атрибутов возникает проблема увеличения хеш-коллизий.

Частной задачей процесса формализации является построение механизма оценки сходства таких значений. Наиболее точную оценку дает система оценки сходства на основе семантических признаков [9], учитывающая особенности составления запросов пользователем и таким образом позволяющая характеризовать злоумышленное воздействие на базу данных или сбой в клиентской системе. Для повышения точности работы механизма обнаружения предлагается семантическая характеристика атрибутов на основе строковых шаблонов.

Шаблон является неким образцом, который характеризует группу схожих по определенным критериям объектов для сжатого представления множества таких объектов без его полного перечисления. Для описания шаблонов используется некий формальный язык L над конечным алфавитом, определяющий шаблон $\varphi(L)$, который позволяет характеризовать набор экземпляров, удовлетворяющих данному шаблону.

В качестве примера, рассмотрим значения атрибутов вида «Имя Фамилия». Обозначив группы символов, которые могут быть встречены в текущей позиции как $[a, b, c][n, m]$ (множество символов $[a, b, c]$, встречающихся от n до m раз), получим обладающий семантической значимостью шаблон вида $\{up\}\{1,1\}\{lw\}\{1,\}\{div\}\{1,\}\{up\}\{1,1\}\{lw\}\{1,\}$, где $\{up\}$ - множество букв верхнего регистра $[A,B,C]$, $\{lw\}$ - множество букв нижнего регистра $[a,b,c]$, а $\{div\}$ - множество разделителей $[\backslash n, \backslash t, \dots]$.

Таким образом, каждый шаблон будет являться неким семантическим описанием набора строковых атрибутов и их значений в базе данных.

Рассмотренный в данной статье механизм обнаружения аномалий в реляционных базах данных, использующий алгоритм отрицательного отбора с варьируемым радиусом, позволяет обнаруживать аномалии пользовательского поведения на основе анализа синтаксиса пользовательских запросов. Использование предложенной методики позволит уменьшить число ложных срабатываний системы обнаружения аномалий при сохранении возможности выявления новых, неизвестных ранее атак, а также случаев злонамеренных действий легитимных пользователей.

Список литературы:

1. Denning, D. An Intrusion-Detection Model // IEEE Transactions on Software Engineering, Vol. SE-13, No. 2., 1987
2. Mustafa, T. K. Computational stylometric approach based on frequent word and frequent pair in the text mining authorship attribution // Int. J. Comput. Sci. Net. Secur., 2009 - P. 262-269
3. Chandola V., Banerjee A., Kumar V. Anomaly Detection: A Survey // ACM Computing Surveys, Vol. 41(3), Article 15, July 2009
4. Fang Z. Stock Fluctuations Anomaly Detection Based on Wavelet Modulus Maxima // Business Intelligence and Financial Engineering, International Conference, 2009 - P. 360-363
5. Forrest S. Self-nonself discrimination in a computer // Proc. IEEE Symposium on Research in Security and Privacy, Oakland, CA, 16-18 May, 1994 - P. 202-212
6. Dasgupta D. Negative Selection Algorithm for Aircraft Fault Detection // Lecture Notes in Computer Science, Vol. 3239/2004, 2004
7. Ji Z., Dasgupta D. Real-valued negative selection algorithm with variable-sized detectors // Genetic and Evolutionary Computation GECCO-2004, Part I. LNCS 3102, Seattle, WA, USA, Springer-Verlag 2004 - P. 287-298.
8. W. Hasselbring. Information system integration. // Communications of the ACM, 43(6), 2000 - P. 33-38

Д.И. Прошин к.т.н.

Пензенская государственная технологическая академия,
Пенза, Россия
ProshinDI@qip.ru

КОНЦЕПЦИЯ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ МЕХАНИЗМА ПОЗНАВАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ КАК ДВУХСТОРОННЕГО ПРОЦЕССА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ

В статье рассматривается механизм профессиональной подготовки как двусторонний процесс взаимодействия взаимосвязанных многослойных интеллектуальных систем: обучающегося и преподавателя, результат функционирования которых – управление познавательной деятельностью обучающегося посредством повышения его уровня самоорганизации и самообучения при непрерывном снижении степени явного участия преподавателя в управлении обучением.

Ключевые слова: профессиональная подготовка, системный анализ, модель процесса обучения, комплексная стратифицированная профессиональная подготовка.

Обучающийся как многоуровневая система управления. В структуре интеллектуальной системы обучающегося с позиций управления обучением выделим две укрупнённых части: управляющую часть и блок, отражающий динамические свойства обучающегося как объекта управления. В управляющей части сосредоточены все функции по управлению, то есть в этом блоке сконцентрированы управляющие функции, как синтеза, так и реализации цели.

Источник возмущающих воздействий интеллектуальной системы – окружающая среда. Функционирование системы в конечном итоге направлено на достижение цели посредством компенсации этих возмущающих воздействий. И.П. Павлов писал: «Вся жизнь – от простейших до сложнейших организмов, включая, конечно, и человека, есть длинный ряд всё усложняющихся до высочайшей степени уравниваний внешней среды. Придёт время, пусть отдалённое, когда математический анализ, опираясь на естественнонаучный, осветит величественными формулами уравнений все эти уравнивания, включая в них и самого себя» (И.П. Павлов. Полн. Собр. Соч. Т.3. С. 124 – 125).

С точки зрения управления процессом обучения выделим и распределим по уровням в управляющей части функции самоуправления обучающимся $\bar{U}^0$:

- мотивацией $\bar{U}_4^0$;
- критериями оценки знаний $\bar{U}_3^0$;
- целями и задачами $\bar{U}_2^0$;
- методологией познавательной деятельности $\bar{U}_1^0$;
- предметно-содержательной компонентой (ПСК) знаний $\bar{U}_0^0$

и представим обучающегося как многоуровневую (многослойную) систему управления (рисунок 1).

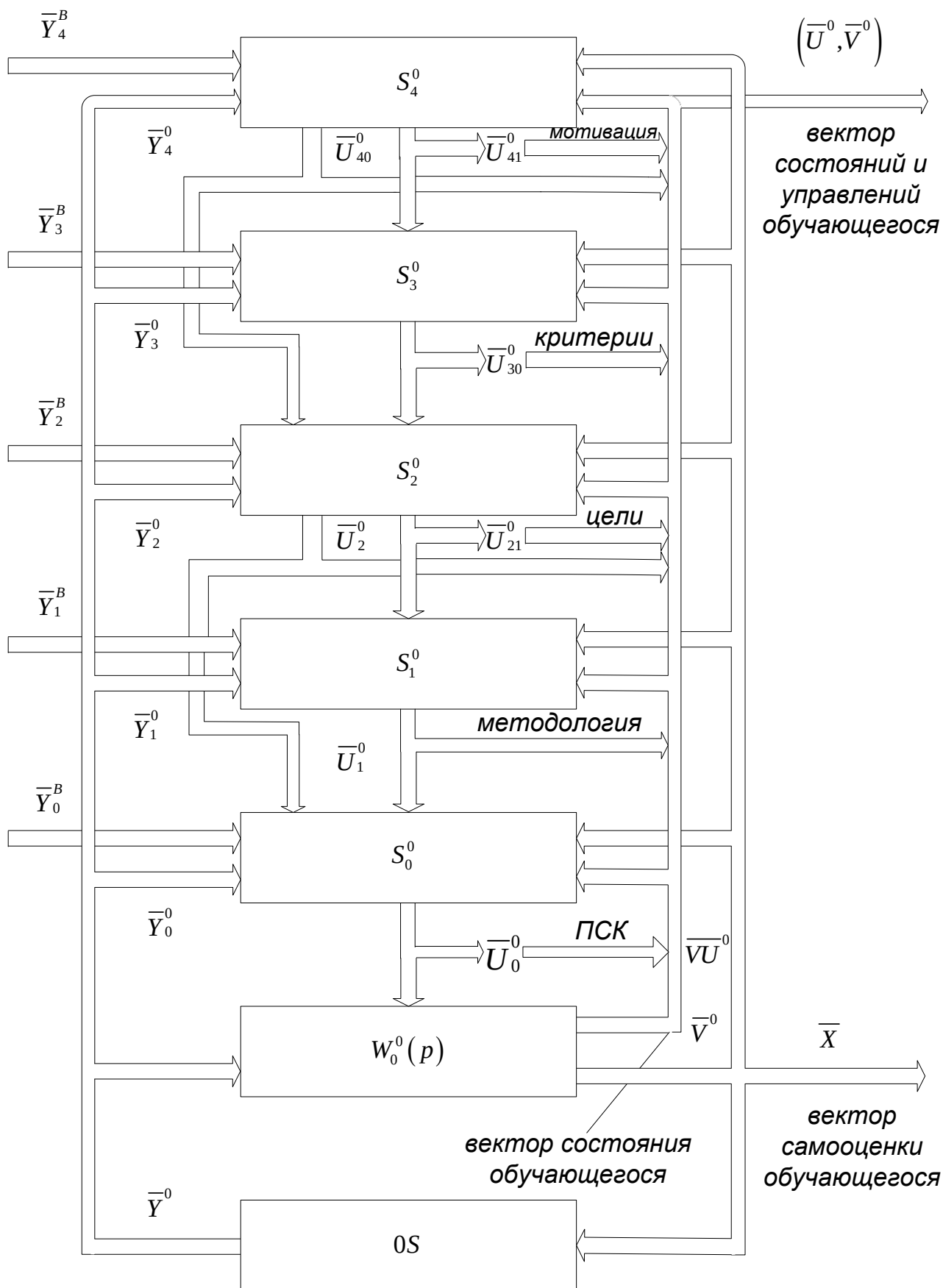


Рисунок 1 – Обучающийся как многоуровневая система управления

Управление предметно-содержательной компонентой знаний. Нижний уровень управления – управление предметно-содержательной составляющей знаний включает замкнутый контур самообучения и самоконтроля уровня знаний в соответствии с множеством состояний $\bar{V}$ прогнозируемых результатов познавательной деятельности $\bar{X}$ обучающимся по предметно-содержательной составляющей знания R_0^O (рисунок 2).

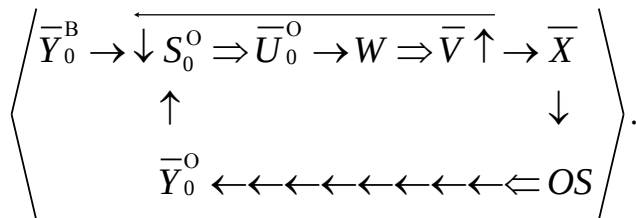


Рисунок 2– Диаграмма управления предметно-содержательной составляющей знаний

Переменные на выше приведенной диаграмме представлены векторами состояния $\bar{V}$, выхода $\bar{X}$, управления $\bar{U}_0^O$ и воздействия окружающей среды $\bar{Y}_0$. Операторы преобразования переменных обозначены:

- S_0^O – интеллектуальный оператор управления;
 - W – оператор, отражающий динамические процессы управления познавательной деятельностью;
 - OS – оператор, отражающий взаимосвязь обучающегося с окружающей средой.
- Двойные стрелки использованы для обозначения выходов операторов.

Механизм управления с использованием интеллектуального оператора обучающегося S_0^O в нулевом слое описывается выражением

$$T \times R_0^O \times V \times X \times Y_0 \xrightarrow{S_0^O} U_0^O \times T. \quad (1)$$

Уравнение (1) не отражает динамические свойства обучающегося.

Динамическая часть, обозначенная W , задаётся в пространстве состояний уравнениями

$$\begin{aligned} T \times \dot{V} &= \{A \times T\} X \times T + \{B \times T\} U \times T; \\ T \times X &= \{D \times T\} X \times T + \{E \times T\} U \times T. \end{aligned} \quad (2)$$

Основная задача на этом уровне управления процессом познавательной деятельности – обеспечить посредством вектора управляющих воздействий $\bar{U}_0^O$ при заданной методологии обучения требуемый спектр знаний обучающимся предметной области. Обучающийся воздействует на окружающую среду с целью получения необходимой информации по предметной области, оценивает уровень и качество получаемых предметных знаний, корректирует управление. Воздействие окружающей среды на процесс управления в этом слое отражается множеством состояний окружающей среды $Y_0 = \{Y_0^O, Y_0^B\}$, объединяющих компоненту, инициированную самим обучающимся Y_0^O и внешнее управление Y_0^B .

Управление механизмом познавательной деятельности. Первый уровень управления – управление механизмом познавательной деятельности – совокупность методов, методик, приёмов, способов познавательной деятельности, которыми владеет обучающийся. Управление механизмом познавательной деятельности на этом уровне сосредоточено во втором слое управления и задаётся интеллектуальным оператором обучающегося S_1^O (рис. 3).

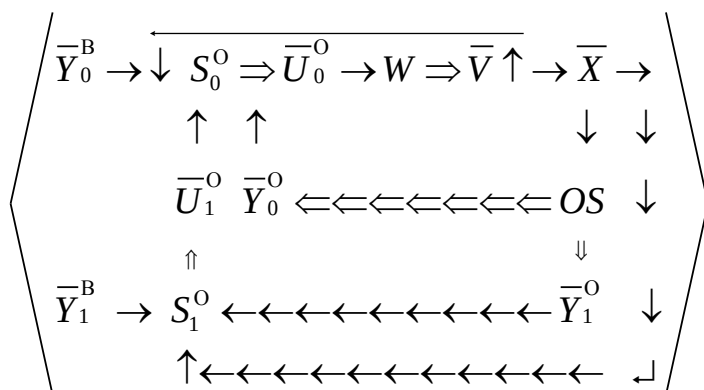


Рисунок 3 – Диаграмма управления механизмом познавательной деятельности

Управляющее воздействие $\bar{U}_1^O$ с выхода оператора S_1^O обеспечивает изменение структуры и параметров внутреннего оператора S_0^O . Механизм управления S_1^O во втором слое направлен на приспособление, с одной стороны, обучающегося к методологии обучения, с другой, на адаптацию методов и методик учебного процесса к уровню знаний обучающегося. Корректирующее самоуправление в этом слое вырабатывается на основе анализа обучающимся результатов обучения и внешней среды, вариации, известных обучающемуся способов обучения и может быть определено выражением

$$T \times R_1^O \times X \times Y_1 \xrightarrow{S_1^O} U_1^O \times T. \quad (3)$$

Управляющее воздействие $\bar{U}_1^O$ (3), формируемое в этом слое, направлено на коррекцию структуры и параметров управляющего интеллектуального оператора S_0^O , поэтому выражение, описывающее формирование управляющего воздействия во внутреннем контуре $\bar{U}_0^O$, дополняется составляющей $\bar{U}_1^O$

$$T \times R_0^O \times V \times X \times Y_0 \times U_1^O \xrightarrow{S_0^O} U_0^O \times T. \quad (4)$$

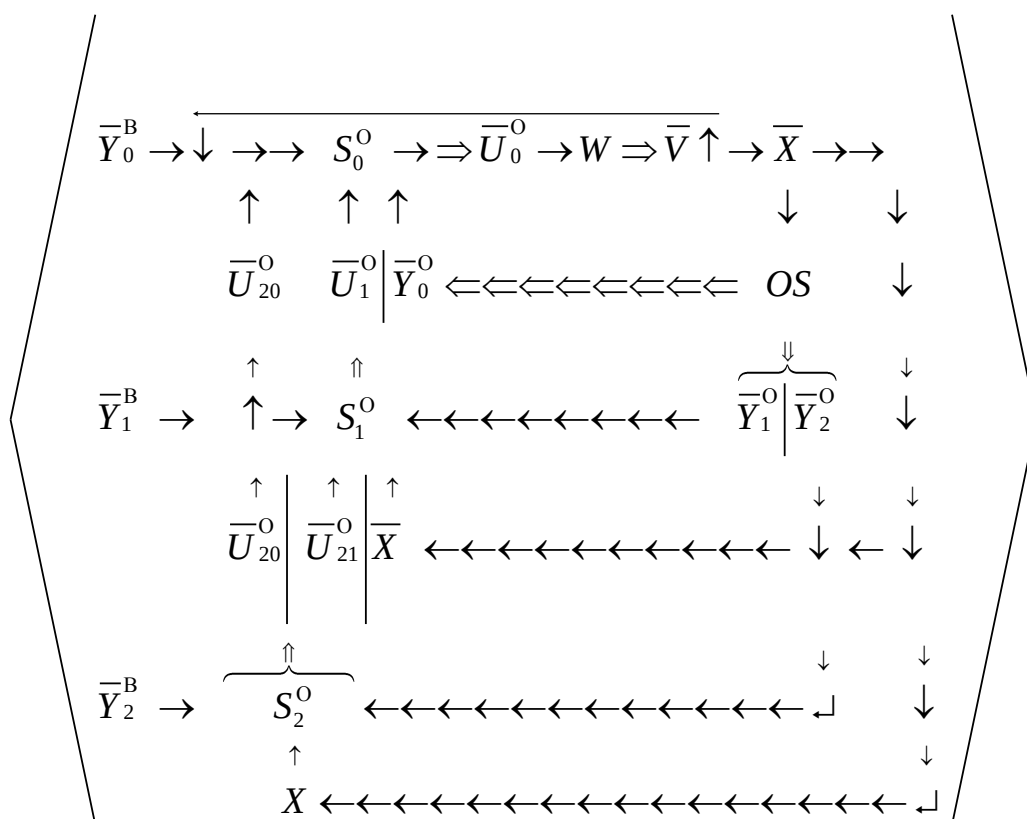
Двухслойная система самоуправления обучающимся описывается выражениями (2) – (4).

Управление критериями оценки знаний обучающегося. Второй слой управления познавательной деятельностью обучающегося направлен на формирование критериев оценки знаний обучающегося. В зависимости от выбранного критерия оценки знаний производится коррекция, как предметно-содержательной составляющей знания, так и методологии познавательной деятельности. Диаграмма, отражающая второй слой управления (рисунок 4), содержит три контура управления.

$\bar{U}_{20}^0$ – управление предметно-содержательной компонентой обучения;
 $\bar{U}_{21}^0$ – управление методологией познавательной деятельности обучения.

Механизм интеллектуального управления S_2^0 во втором слое описывается выражением

$$T \times R_2^0 \times X \times Y_2 \xrightarrow{s_2^0} \begin{cases} U_{20}^0 \times T \\ U_{21}^0 \times T \end{cases}. \quad (5)$$



Формула (5) совместно с выражениями для внутренних контуров

$$T \times R_1^0 \times X \times Y_1 \times U_{21}^0 \xrightarrow{s_1^0} U_1^0 \times T;$$

$$T \times R_0^O \times V \times X \times Y_0 \times U_1^O \times U_{20}^O \xrightarrow{s_0^O} U_0^O \times T$$

Управление целями и задачами познавательной деятельности обучающегося.

173

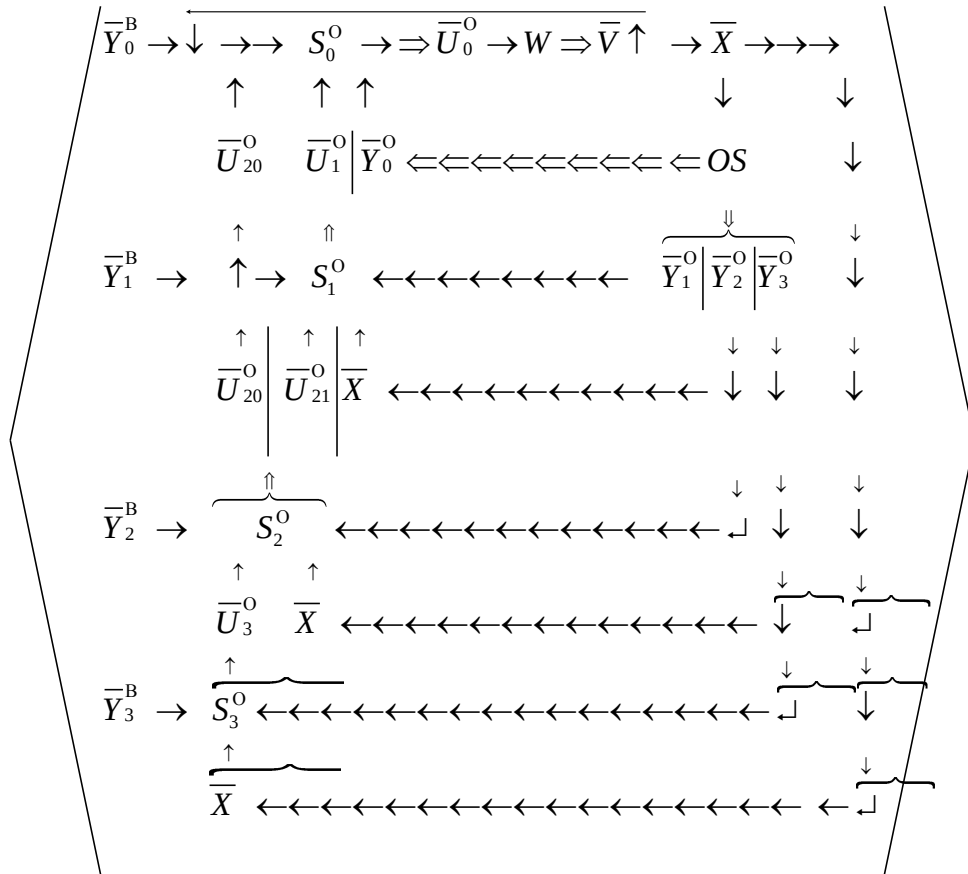


Рисунок 5 – Диаграмма управления целями и задачами

Интеллектуальное управление целями и задачами познавательной деятельности обучающегося может быть описано выражением

$$T \times R_3^O \times X \times Y_3 \xrightarrow{S_3^O} U_3^O \times T.$$

Диаграмма, отражающая управление целями и задачами включает дополнительный, внешний по отношению к контурам управления предметно-содержательной составляющей знания, методологической частью и критериями оценки знаний, четвертый контур интеллектуального управления целями и задачами.

Интеллектуальное управляющее воздействие U_3^O , формируемое в четвертом контуре интеллектуального управления, направлено на управление третьим контуром посредством воздействия на интеллектуальный оператор S_2^O . Поэтому математическая модель управляющей части обучающегося как четырехслойной обучающейся системы может быть задана так:

$$T \times R_3^O \times X \times Y_3 \xrightarrow{S_3^O} U_3^O \times T;$$

$$T \times R_2^O \times X \times Y_2 \times U_3^O \xrightarrow{S_2^O} \begin{cases} U_{20}^O \times T \\ U_{21}^O \times T \end{cases};$$

$$T \times R_1^O \times X \times Y_1 \times U_{21}^O \xrightarrow{S_1^O} U_1^O \times T;$$

$$T \times R_0^O \times V \times X \times Y_0 \times U_1^O \times U_{20}^O \xrightarrow{S_0^O} U_0^O \times T.$$

Управление мотивацией обучающегося. Выбор целей и задач из множества вариантов интеллектуального управления производится посредством множества

управляющих воздействий U_4^O , формируемых в пятом контуре интеллектуального управления. Основная задача этого контура – управление мотивацией обучающегося. Математическая модель пятислойной структуры обучающегося с учётом его динамических особенностей описывается следующей системой выражений:

$$\begin{aligned}
 T \times R_4^O \times X \times Y_4 &\xrightarrow{s_4^O} \begin{cases} U_{40}^O \times T; \\ U_{41}^O \times T; \end{cases} \\
 T \times R_3^O \times X \times Y_3 \times U_{41}^O &\xrightarrow{s_3^O} U_3^O \times T; \\
 T \times R_2^O \times X \times Y_2 \times U_3^O \times U_{40}^O &\xrightarrow{s_2^O} \begin{cases} U_{20}^O \times T; \\ U_{21}^O \times T; \end{cases} \\
 T \times R_1^O \times X \times Y_1 \times U_{21}^O &\xrightarrow{s_1^O} U_1^O \times T; \\
 T \times R_0^O \times V \times X \times Y_0 \times U_1^O \times U_{20}^O &\xrightarrow{s_0^O} U_0^O \times T; \\
 T \times \dot{V} &= \{A \times T\} X \times T + \{B \times T\} U \times T; \\
 T \times X &= \{D \times T\} X \times T + \{E \times T\} U \times T,
 \end{aligned}$$

а её обобщённая диаграмма принимает вид, показанный на рисунке 6.

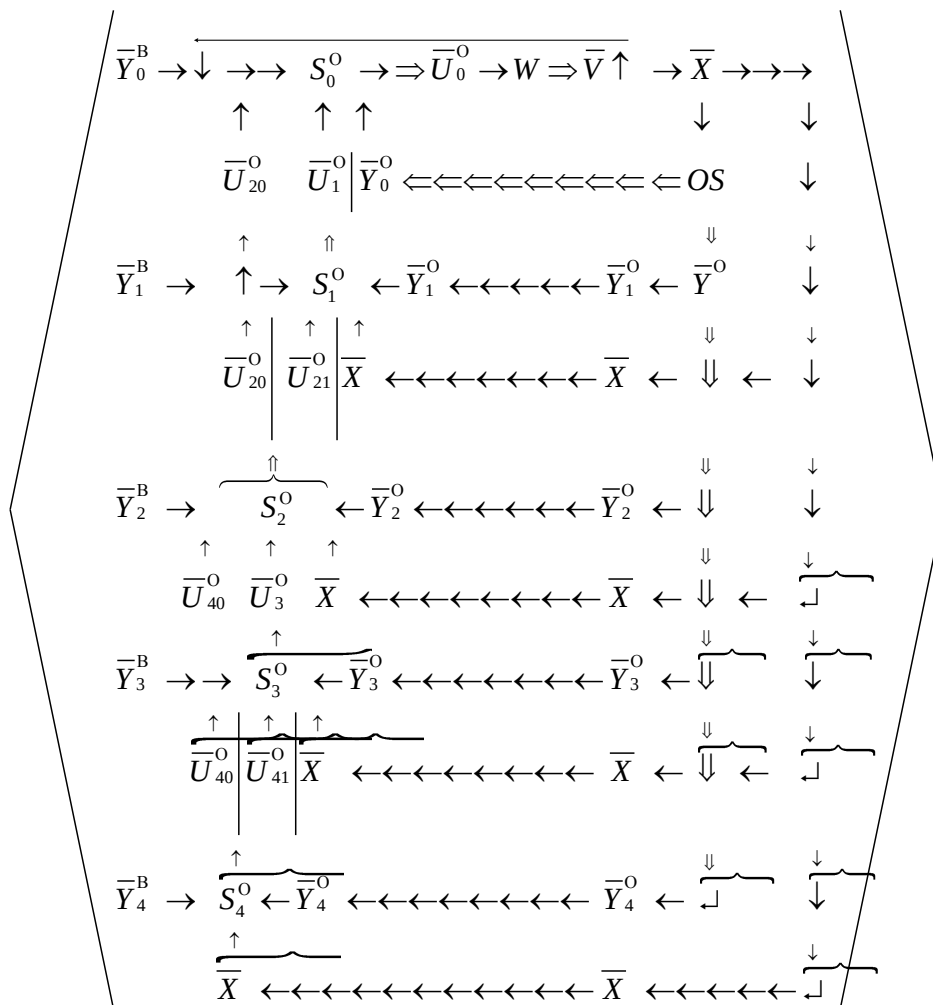


Рисунок 6 – Диаграмма управления мотивацией обучающегося

Совокупность интеллектуальных операторов управления $S_0^O \div S_4^O$ образует единую управляющую часть в структуре интеллектуального управления обучающимся. Все управляющие воздействия нижнего уровня наблюдаемы с более высоких уровней управления. Так, на нулевом уровне доступна информация об управляющем воздействии предметно-содержательной компонентой $\bar{U}_0^O$. В принятии решения по управлению на первом уровне используется информация об управляющих воздействиях первого $\bar{U}_1^O$ и нулевого уровней $\bar{U}_0^O$, второго – информация о векторах $\bar{U}_2^O, \bar{U}_1^O, \bar{U}_0^O$. В третьем слое управления используется информация об управляющих воздействиях предыдущих слоёв управления – $\bar{U}_3^O, \bar{U}_2^O, \bar{U}_1^O, \bar{U}_0^O$. Управляющее воздействие в четвёртом слое интеллектуального управления формируется на основе информации об управляющих воздействиях – $\bar{U}_4^O, \bar{U}_3^O, \bar{U}_2^O, \bar{U}_1^O, \bar{U}_0^O$. Следовательно, управляющая часть обучающегося как многослойная интеллектуальная система представляет собой целостную многослойно распределённую интеллектуально управляемую систему, а совокупность управляющих воздействий различных слоёв образует единый внутренний вектор управляющих воздействий $\bar{U}^O = \{\bar{U}_0^O, \bar{U}_1^O, \dots, \bar{U}_4^O\}$. Воздействия со стороны окружающей среды определяются векторами $\bar{Y} = \{\bar{Y}^O, \bar{Y}^B\}$, объединяющими компоненту, инициированную самим обучающимся $\bar{Y}^O = \{\bar{Y}_0^O, \bar{Y}_1^O, \dots, \bar{Y}_4^O\}$, и внешнее управление $\bar{Y}^B = \{\bar{Y}_0^B, \bar{Y}_1^B, \dots, \bar{Y}_4^B\}$.

Таким образом, многослойная модель профессиональной подготовки обучающегося образует вложенную структуру с подчинением каждого низшего уровня управления высшему. При этом на каждом уровне многослойной системы возможно управление с использованием внешнего управляющего воздействия $\bar{Y}_0^B = \{\bar{Y}_0^B, \bar{Y}_1^B, \dots, \bar{Y}_4^B\}$.

Классификация моделей профессиональной подготовки. Предложенная многослойная структура образовательной системы позволяет выделить и провести исследования множества возможных режимов обучения. Введём три крайних уровня организации управления образовательной деятельностью в каждом слое образовательной структуры: 0 - обучаемый не участвует в процессе управления познавательной деятельностью, управление обучением полностью выполняет преподаватель; 1 - в управлении познавательной деятельностью участвуют и преподаватель и обучающийся; 2 - управление обучением реализуется только обучающимся без вмешательства в управление преподавателя.

Воздействия на обучающегося со стороны преподавателя проявляются в виде двух компонент. Первая компонента – непосредственное воздействие в результате прямого управления деятельностью обучающихся на занятиях. Вторая компонента – управление через методические пособия, посредством проведения научно-исследовательских работ, экспериментов на лабораторных установках, моделях, и совместного их анализа и т.д.

Обе составляющие вектора управляющего воздействия $\bar{U}^{\Pi}$ формируются преподавателем на основе информации о векторе состояний обучающегося $\bar{V}$. Кроме того, в управляющем воздействии $\bar{U}^{\Pi}$ присутствует некоторая часть информации, формируемой преподавателем в результате его ответов на вопросы обучающегося. Инициатором этой части информации выступает обучающийся.

В то же время, вторая компонента входного управляющего воздействия обучающегося также может формироваться по инициативе и при непосредственном участии самого обучающегося. Вектор входного воздействия обучающегося при этом содержит две составляющие, в которых отражается участие в процессе управления познавательной деятельностью, как преподавателя, так и обучающегося.

Таким образом, познавательная деятельность представляет собой сложный механизм интеллектуального взаимодействия преподавателя и обучающегося, в результате которого формируется управление и происходит совершенствование, как обучающегося, так и преподавателя. Степень участия в процессе управления познавательной деятельностью преподавателя и обучающегося в относительных единицах может быть задана от 0 до 1. С учётом выделенных крайних уровней управления и организации управления познавательной деятельностью можно выделить 243 модели процесса обучения от $M[00000]$ где управление обучением по всем уровням управления полностью сконцентрировано у преподавателя, обучаемый полностью управляется и контролируется преподавателем до $M[20000]$, где предполагается принятие всех решений по управлению обучением предметным знаниям обучающимся.

Существующие системы образования в большей степени реализуют первую модель обучения $M[00000]$, обучение без внутренних обратных связей, когда процесс профессиональной подготовки полностью управляется и контролируется преподавателем. При таком обучении обучающийся – пассивный созерцатель и копировщик информации на всех этапах обучения. Даже профессиональная подготовка по вечерней и заочной формам обучения предполагает широкое использование методических материалов, через которые преподаватель полностью управляет процессом обучения.

Содержательная компонента преподаётся в виде лекций и выполнения практических и лабораторных занятий по строго детерминированным методикам с использованием примеров и образцов выполнения самостоятельной работы. Естественно, студенты с творческими наклонностями при этом имеют слабую мотивацию к обучению и не только не развивают свои способности, но и часто утрачивают их. В пятикратной диаграмме управления профессиональной подготовкой отсутствуют все взаимосвязи с окружающей средой, направленные на самостоятельное овладение информацией по всем слоям модели.

Для модели обучения $M[10000]$ характерно сочетание проведения занятий в аудиториях по детерминированным методикам и самостоятельной подготовки на основе альтернативных методик с использованием учебно-методической литературы, предполагающей наличие примеров и творческих неоднозначных заданий без образцов их выполнения, самостоятельной подготовки рефератов и расчётных заданий, имеющих практическую направленность.

Профессиональная подготовка по модели $M[20000]$ предполагает концентрацию и принятие всех решений по управлению обучением предметным знаниям обучающимся. Преподаватели обучают студентов методикам изучения предметных областей. Обучающиеся в соответствии с этими методиками и рекомендациями преподавателей самостоятельно подбирают и решают задачи, выполняют самостоятельные занятия, контролируют свои знания на основе выполнения тестов и контрольных заданий. Лекции проводятся в дискуссионной форме с выявлением проблемы, целей и задач характерных для данных областей знаний.

Наиболее действенная математическая модель познавательной деятельности в соответствии с принятой классификацией $M[22222]$, в соответствии с которой управление познавательной деятельностью на всех уровнях управления сконцентрировано у обучающегося. Однако реализовать самостоятельное и результативное обучение по этой модели могут только творческие люди, имеющие познавательную мотивацию. В тоже время развитие современных инновационных технологий предоставляет для этой формы обучения все большие возможности.

В соответствии с предлагаемой концепцией механизм профессиональной подготовки предлагается строить как процесс двустороннего взаимодействия взаимосвязанных многослойных интеллектуальных систем: обучающегося и преподавателя, результат функционирования которых – управление познавательной деятельностью обучающегося посредством повышения его уровня самоорганизации и самообучения при непрерывном снижении степени явного участия преподавателя в управлении обучением, то есть как процесс непрерывного перехода от модели обучения М[00000] к модели М[22222]. Такой переход возможен множеством различных способов. Причём, для каждого конкретного обучающегося существует своя оптимальная последовательность такого перехода, что обуславливает необходимость индивидуальной подготовки каждого обучающегося.

Список литературы:

1. Прошин И.А., Прошин Д.И. Моделирование интеллектуальных способностей обучающихся. Журнал. №6. Академия профессионального образования, 2008. - с.21-24.
2. Прошин И.А., Прошин Д.И., Прошина Р.Д. Классификация моделей профессиональной подготовки. Журнал научных публикаций аспирантов и докторантов. №2., 2009. – с.63-65.

В.Л. Снежко к.т.н.

Московский государственный университет природообустройства,
кафедра Вычислительной техники и прикладной математики,
Россия, Москва
VL_Snejko@mail.ru

СОВРЕМЕННЫЕ СПОСОБЫ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ В ИССЛЕДОВАНИЯХ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СОПРОТИВЛЕНИЙ ТУРБУЛЕНТНЫХ ПОТОКОВ

При экспериментальном исследовании гидравлических сопротивлений напорных потоков необходимо не только соблюдение критериев подобия модели и натурального трубопровода, но и обеспечение условий повторяемости и прецизионности. Изложены способы формирования выборочной совокупности и обработки эмпирических данных согласно требованиям Российских и международных стандартов.

Ключевые слова: гидравлические сопротивления, турбулентное течение, выборочные исследования.

Отличительной особенностью гидротехнических водоводов являются большие размеры поперечного сечения труб. На канале Иртыш-Караганда при подаче $75 \text{ м}^3/\text{с}$ воды насосами производительностью до $20 \text{ м}^3/\text{с}$ применены трубопроводы диаметром 2.6 метра. На Кубань-Калаусских ГЭС железобетонные трубопроводы имеют внутренний диаметр 4.0 м. Донные водовыпуски Кировского гидроузла имеют диаметр металлических труб, вмонтированных в отдельные секции бетонной массивно-контрфорсной плотины, равный 2.2 м.

Неотъемлемой частью проектирования гидротехнических водоводов является их гидравлический расчет, регламентируемый нормативными документами, в результате которого определяется величина потерь напора на местных сопротивлениях (арматуре) и потерь на трение по длине. В водопроводящих сооружениях, имеющих узлы местных сопротивлений, расчетное определение гидравлических характеристик может дать неверную (как в сторону уменьшения, так и в сторону увеличения) оценку пропускной способности, вызванную взаимным влиянием сопротивлений. Теоретический метод изучения гидродинамических характеристик течения не всегда способен отразить все многообразие условий физического процесса и, как правило, приводит к неразрешимым математическим уравнениям. До настоящего времени широко используются экспериментальные методы, производимые на моделях, имеющих меньший масштаб, чем натуральный водовод. В основу существующих методов моделирования положены функциональные зависимости между различными физическими величинами, влияющими на процесс протекания жидкости.

Существует более двух тысяч работ, посвященных экспериментальному изучению напорных потоков [1]. Широко известны исследования И.Е.Идельчика, А.Д.Альтшуля, С.Р. Левина, В.П. Зубова, Г. Фогеля и Е. Кинне, Ф. Петермана, А. Гарделя, Д.Тома. Тем не менее, необходимость изучения взаимного влияния местных сопротивлений при проектировании водопропускных сооружений гидроузлов, определение эквивалентной шероховатости трубопроводов из новых полимерных материалов и ряд других задач, стоящих перед инженерно-технической практикой в настоящее время, по-прежнему требуют проведения гидравлического эксперимента.

Стремительное развитие математической статистики, появление новых, достаточно мощных критериев проверки гипотез и государственная стандартизация применяемых

критериев не могут не учитываться при обработке результатов классического гидравлического эксперимента. Надежность и сопоставимость эмпирических данных, возможность их сравнения с другими исследованиями будут достигнуты только в случае проведения опыта согласно требованиям международных стандартов ИСО (International Standardization Organization, ISO), которые являются достаточно жесткими. К сожалению, эти требования соблюдаются не всегда, в силу как недостаточной математической подготовки инженерно-технического персонала, так и отсутствию общих рекомендаций, учитывающих специфику проведения эксперимента в гидротехнике.

Многочисленные исследования гидравлических характеристик трубопроводов круглого и квадратного сечения, выполненные в лаборатории Гидравлики Московского государственного университета природообустройства под руководством автора, позволили разработать методику планирования и обработки результатов гидравлического эксперимента для турбулентных потоков согласно требованиям последних стандартов ИСО. При выполнении гидравлических исследований сопротивлений напорных турбулентных потоков можно выделить следующие основные классы задач:

- Определение коэффициента Дарси λ , эквивалентной шероховатости стенок модельного трубопровода Δ_s и зоны гидравлических сопротивлений, в которой работает исследуемый водовод.
- Определение коэффициентов единичных местных сопротивлений ζ и сравнение полученных значений со справочными данными (если это возможно).
- Выяснение зоны гидравлических сопротивлений, в которой работает изучаемый элемент трубопроводной арматуры.
- Определение коэффициента сопротивления узла, состоящего из нескольких местных сопротивлений, расположенных в пределах участка стабилизации (зоны влияния местного сопротивления), и зоны гидравлических сопротивлений, в которой работает изучаемый узел.

В пределах указанных задач, как правило, измеряют расход воды, проходящий через модель, исследуют распределение скоростей по высоте поперечного сечения и длине трубопровода, снимают положение пьезометрической линии и т.д. В любом случае основное условие проведения эксперимента по определению гидравлических сопротивлений в напорных потоках – выполнение исследований в некотором диапазоне чисел Рейнольдса (Re), отвечающем критериям подобия, на котором возможно отследить динамику функций $\lambda=f(Re)$ и $\zeta=f(Re)$.

Изменения числа Рейнольдса $Re = \frac{vd}{\nu}$ обусловлены средней скоростью течения воды в трубопроводе v , его диаметром d и температурой воды t , со значением которой связана кинематическая вязкость ν . Варьирование температуры воды на 1°C изменит кинематическую вязкость примерно на 2.5%. При постоянной скорости и одинаковом диаметре трубопровода это даст смещение Re на 2.6%. Учитывая достаточно высокие значения скоростей, необходимые для соблюдения условий подобия, и диапазон изменения Re , включающий размах между минимальным и максимальным значениями не меньше чем на 500 или 1000 (например, от $1.2 \cdot 10^5$ до $1.2 \cdot 10^6$ или $1.2 \cdot 10^5 - 1.7 \cdot 10^5$), необходимо увеличить температуру воды на $10-20^\circ$, что трудно выполнимо технически. Поэтому, при исследовании сопротивлений турбулентных потоков чаще всего варьировать скорость протекания воды по трубопроводам, для чего изменяют расход модельной установки или напор на входе в трубопровод. Это и есть непосредственно задаваемый фактор в эксперименте.

Генеральной совокупностью в данном случае будут те значения непосредственно задаваемого фактора – напора H на входе в трубопровод, которые обеспечат на модели заданный диапазон чисел Рейнольдса при неизменных геометрических параметрах конкретного варианта модели. Очевидно, что регулирование напора будет происходить

некоторым устройством, как правило – задвижкой, которая также имеет свои характеристики, обеспечивающие некоторое минимально возможное изменение напора Δh при минимально возможном перемещении регулирующего органа. Объем генеральной совокупности в данном случае находится достаточно просто:

$$N = \frac{\Delta H}{\Delta h},$$

где ΔH – размах напоров, обеспечивающих требуемые границы диапазона чисел Рейнольдса; Δh – изменение напора при минимально возможном перемещении регулирующего органа.

В случае, когда измерение параметров течения происходило бы для каждого значения Δh , с точки зрения полноты охвата генеральной совокупности имело бы место сплошное обследование. Это требует не только значительного времени и технически трудно, но и нецелесообразно с точки зрения математической статистики, обладающей достаточно достоверными методами оценки всей генеральной совокупности по выборочным данным. Сущность выборочного метода заключается в том, что из генеральной совокупности извлекается часть элементов (выборка), на основании которой будут впоследствии сделаны выводы, относящиеся ко всей генеральной совокупности. Применение выборочного метода наблюдения включает определение генеральной совокупности, необходимой для соблюдения критериев подобия модельного и натурального объектов; определение вида отбора; формирование выборочной совокупности путем отбора элементов основы; распространение собранных по выборке данных на генеральную совокупность.

При изучении турбулентных потоков выборка представляет собой некоторое число n исследованных значений напора из всего возможного для данной установки числа напоров N . Номер первого элемента часто определяется минимально возможным технически напором, обеспечивающим напорное течение по всей трассе водовода. Способ формирования выборочной совокупности зависит от целей моделирования. При простом случайном бесповторном отборе каждое значение напора исследуется один раз. Следует различать повторные замеры при каждом фиксированном напоре и повторный отбор. Систематический отбор состоит в отборе каждого k -того элемента из списка элементов генеральной совокупности (например, из всех возможных напоров изучается течение в 1-ом, 2-ом, 5-ом и так далее уровнях). Интервалы систематического отбора могут быть неравномерны. Подобный способ отбора дает удовлетворительные результаты, если изучаемому явлению не присуща цикличность, связанная с интервалом отбора. Применительно к гидравлическому эксперименту в принятой постановке целесообразнее всего использование простого случайного бесповторного или систематического отбора. Под числом повторов подразумевается количество измерений зависимого фактора, которое надо выполнить в конкретной серии на одном уровне основного фактора.

Согласно ГОСТ [2] на изменчивость результатов измерений будут влиять следующие основные факторы: оператор, используемое оборудование и его калибровка, параметры окружающей среды и интервал времени между измерениями. Два условия прецизионности – повторяемость и воспроизводимость в ИСО 5725 обобщаются показателем точность. В условиях повторяемости все перечисленные факторы являются постоянными и не влияют на изменчивость. В условиях воспроизводимости – все факторы переменны и оказывают влияние на изменчивость результатов эксперимента. Повторяемость и воспроизводимость – два граничных случая прецизионности, при повторяемости изменчивость минимальна, при воспроизводимости – максимальна. Промежуточные условия – изменчив один или несколько из перечисленных факторов.

Проведение одной серии гидравлического эксперимента, как правило, не может занимать длительный промежуток времени. Наиболее надежные результаты будут получены тогда, когда не изменяется оператор, оборудование, калибровка и параметры окружающей

среды. Рассмотрим подробнее влияние фактора «время». За весь период исследований с течением времени могли измениться такие параметры как рабочая жидкость и геометрия модельной установки. В гидравлических лабораториях, как правило, рабочей жидкостью служит вода, которая поступает из бассейна. За время исследований в пределах одной серии рабочая жидкость не изменяется, остаются постоянными ее состав и свойства, температура при заборе из большого объема бассейна не повышается, при замкнутой циркуляции внутри напорного трубопровода, бака и насоса возможен некоторый рост температуры. Контроль температуры рабочей жидкости проводится постоянно, так как обработка эксперимента требует определения кинематической вязкости жидкости, связанной с ее температурой. Контроль геометрических параметров трубопровода, производимый перед каждой серией, позволит вовремя выявить изменения ее геометрических параметров и коррозионных изменений, влияющих на шероховатость трубопровода. На основании всего сказанного можно сделать вывод о том, что при принятой постановке эксперимента фактор «время» не может оказать в значительной степени влияние на изменчивость результата, или, согласно ГОСТ ИСО, считать, что эксперимент производится в течение короткого промежутка времени или в условиях повторяемости, которые гарантируют минимальную изменчивость результатов измерений.

Определение числа единичных наблюдений и способа их усреднения (среднее арифметическое значение результатов многократных наблюдений, медиана или стандартное отклонение) должно выполняться на основании ГОСТ Р ИСО 5725–6–2002 [5]. Предел повторяемости – значение, которое с доверительной вероятностью 0.95 не превышает абсолютной величиной разности между результатами двух измерений, полученными в условиях повторяемости. Сопоставление производится на основании более двух результатов измерений, полученных в одной лаборатории в условиях повторяемости. Для этого размах вариаций ($x_{\max} - x_{\min}$) результатов измерений каждой величины соотносится с критическим диапазоном для уровня вероятности 95% при числе измерений n :

$$CR_{0.95}(n) = f(n) \cdot \sigma_r, \quad (1)$$

где $f(n)$ – коэффициент критического диапазона, отдельные значения которого приведены в Таблице; σ_r – стандартное отклонение повторяемости.

Таблица – Коэффициенты критического диапазона $f(n)$

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$f(n)$	2.8	3.3	3.6	3.9	4.0	4.2	4.3	4.4	4.5

Если размах вариаций измеряемой величины меньше критического диапазона, то в качестве окончательного результата следует принимать среднее арифметическое значение результатов нескольких измерений. В противном случае в качестве окончательного результата должна фиксироваться медиана нескольких измерений. Следует отметить, что в случаях, когда размах вариаций больше критического, все измерения следует считать подозрительными и использование медианы крайне нежелательно, а ГОСТ рекомендует отказываться от таких данных и обратить внимание на соблюдение процедуры проведения эксперимента и прецизионность метода измерений для данной лаборатории.

В классическом гидравлическом эксперименте обычно выполняют не менее трех повторов, следовательно, должно выполняться условие:

$$x_{\max} - x_{\min} \leq CR_{0.95}(3) = 3.3\sigma_r$$

В случае истинности условия в качестве результата берут значение $\frac{x_1 + x_2 + x_3}{3}$, если нет, выполняют четвертый замер и вычисляют $x_{\max} - x_{\min} \leq CR_{0.95}(4) = 3.6\sigma_r$ и так далее. При исследованиях турбулентных потоков могут встретиться случаи, когда число замеров приходится увеличивать до 5-7.

Стандартное отклонение повторяемости σ_r – стандартное отклонение результатов измерений, полученных в условиях повторяемости. Его теоретическое значение является неизвестным и должно быть оценено экспериментально перед началом каждой серии опытов для всех непосредственно измеряемых величин. Это необходимо не только для дальнейшего определения числа повторов при проведении серии (ф.1), но и для оценки точности принятого метода измерений данной величины. Для выяснения оценки S истинного стандартного отклонения σ_r в таких опытах используется χ^2 -распределение при определении границ доверительного интервала для заданной вероятности $P\left[-A \leq \frac{s-\sigma}{\sigma} \leq +A\right] = P$. Это означает, что оценка стандартного отклонения s может ожидать в пределах от $\pm A\sigma$ от истинного стандартного отклонения σ с определенной вероятностью. Приближенные выражения для вероятности 95% коэффициента A в условиях повторяемости получены в [4]:

$$A = 1.96 \sqrt{\frac{1}{2n(k-1)}}, \quad (2)$$

Где k – число повторов на уровне n .

Стандартное отклонение результатов измерений, полученных в условиях повторяемости, как правило, меньше, чем при промежуточных условиях прецизионности.

Прежде чем подвергать экспериментальные данные любой серии дальнейшему анализу согласно ГОСТ Р ИСО 5725-2 – 2002 [3], требуется проверка полученного максимального и минимального значения исследуемой характеристики на один выброс наибольшего и наименьшего результатов с использованием критерия Граббса. Для проверки на один выброс наибольшего результата x данные ранжируют в порядке возрастания x_i ($i= 1, 2 \dots p$) и вычисляют статистику Граббса G_p :

$$G_p = \frac{(x_p - \bar{x})}{s}, \quad (3)$$

где $s = \sqrt{\frac{1}{p-1} \sum_{i=1}^p (x_i - \bar{x})^2}$, p – максимальный ранг.

Для проверки значимости наименьшего результата вычисляют тестовую статистику

$$G_1 = \frac{(\bar{x} - x_1)}{s} \quad (4)$$

Критические значения для критерия Граббса приведены в Таблице 8 ГОСТ Р ИСО 5725-2 – 2002 [3]. Если значение тестовой статистики меньше или равно критическому значению при 5% уровне значимости, то значение признают корректным; если значение тестовой статистики больше 5% критического значения и меньше или равно 1%-ного критического значения, то значение считают квазивыбросом и отмечают одной звездочкой; если значение тестовой статистики больше 1%-ного критического значения, то тестируемую позицию называют статистическим выбросом и отмечают двумя звездочками. Выбросы и квазивыбросы (появление которых должно быть объяснено анализом проведения эксперимента) не рекомендуется включать в дальнейший анализ.

Если результатом эксперимента является единственное значение параметра необходимо не только привести его среднее значение, но и выполнить интервальное оценивание среднего при принятой доверительной вероятности. Способы определения границ доверительного интервала предполагают нормальный закон распределения исследуемого параметра или незначительные отклонения закона от нормального при объеме выборки $n > 10$ [7]. Проверку соответствия выборочных наблюдений распределению Гаусса можно выполнить с использованием достаточно мощных непараметрических асимптотических критериев (Колмогорова, Крамера-Мизеса-Смирнова, Андерсона-

Дарлинг), использование которых регламентируется ГОСТ Р 50779.21-2004 [6]. Наиболее прост в использовании критерий Крамера-Мизеса-Смирнова, расчетное значение статистики которого вычисляется по формуле:

$$\omega_n^2 = \sum_{j=1}^n \left[F(x_{(j)}) - \frac{j-0.5}{n} \right]^2 + \frac{1}{12n}, \quad (5)$$

где j – ранг; $F(x_{(j)})$ – интегральная функция нормального распределения с параметрами $\hat{\theta}_0$ и $\hat{\theta}_1$, здесь стандартное отклонение $\hat{\theta}_0$ является оценкой среднеквадратического отклонения полученных значений исследуемой характеристики, а среднее значение $\hat{\theta}_1$ – оценкой математического ожидания полученных значений этой же характеристики, n – число экспериментальных точек при различных числах Рейнольдса.

Распределение статистик непараметрических критериев при сложных гипотезах (сложных, потому что при проверке согласия используются значения параметров, найденных по тем же наблюдениям, по которым проверяется соответствие), с ростом n быстро сходятся к предельным законам. При объеме наблюдений $n \geq 20$ возможно использовать эти законы, не опасаясь больших ошибок при вычислении достигаемого уровня значимости. Другими словами, возможно вычисление критерия при наличии хотя бы 20-ти экспериментальных точек. В предварительных опытах по оценке стандартного отклонения повторяемости это может быть равносильно проведению 4-х повторов на 5-ти уровнях. Для выяснения постоянных значений коэффициентов ζ и λ в квадратичной области сопротивлений или эквивалентной шероховатости Δ_z , необходимо иметь порядка 20 уровней в пределах одной серии.

Поскольку коэффициенты гидравлических сопротивлений ξ являются косвенно измеряемыми величинами, оценку точности их определения следует выполнять с учетом этой особенности. Согласно ГОСТ ИСО 5725 [2] точность метода измерений представляет собой:

$$y = m + B + e, \quad (6)$$

где m – общее среднее значение (математическое ожидание); B – лабораторная составляющая систематической погрешности в условиях повторяемости; e – случайная составляющая погрешности результата измерений в условиях повторяемости.

Случайную погрешность непосредственно измеряемых величин в условиях повторяемости следует принимать равной стандартному отклонению повторяемости $e = \sigma_r^2$. Далее все косвенные величины ξ выражают в виде функции непосредственно измеряемых величин $\xi = f(x, y, z, \dots)$. Для нахождения случайной ошибки e_ξ косвенных измерений следует пользоваться формулой:

$$e_\xi = \pm \bar{\xi} \cdot \sqrt{\left(\frac{\partial \ln f}{\partial x} \Delta e_x \right)^2 + \left(\frac{\partial \ln f}{\partial y} \Delta e_y \right)^2 + \left(\frac{\partial \ln f}{\partial z} \Delta e_z \right)^2 + \dots}, \quad (7)$$

где $\Delta e_x, \Delta e_y, \Delta e_z, \dots$ – доверительные интервалы при одинаковой доверительной вероятности для аргументов x, y, z , определяющих непосредственные измерения, $\bar{\xi}$ – среднее значение косвенно измеряемой величины.

Если исходить из определения систематической ошибки B_ξ как максимально возможной ошибки, то ее целесообразно находить по формуле [34]:

$$B_\xi = \pm \bar{\xi} \left[\left| \frac{\partial \ln f}{\partial x} B_x \right| + \left| \frac{\partial \ln f}{\partial y} B_y \right| + \left| \frac{\partial \ln f}{\partial z} B_z \right| + \dots \right], \quad (8)$$

где $\frac{\partial f}{\partial x}, \frac{\partial f}{\partial y}, \frac{\partial f}{\partial z}, \dots$ – частные производные функции $\xi = f(x, y, z, \dots)$ по аргументу x ,

у, z..., найденные в предположении, что все остальные аргументы, кроме того, по которому находится производная, постоянные; B_x, B_y, B_z – систематические ошибки аргументов.

Если систематическая ошибка и случайная ошибка близки друг к другу (отличаются менее чем в 3 раза), они обе в одинаковой степени определяют точность результата. Общая ошибка определяется с той же вероятностью, что и систематическая по формуле:

$$\Sigma = \sqrt{B_{\xi}^2 + e_{\xi}^2} \quad (9)$$

Выводы

Проведение эксперимента и обработку данных при изучении гидравлических сопротивлений турбулентных потоков следует выполнять в предлагаемой последовательности:

- Параметры модели и методику проведения экспериментальных замеров принимают согласно требованиям классического гидравлического эксперимента.
- В условиях повторяемости проводится предварительная серия экспериментов для определения стандартного отклонения повторяемости непосредственно измеряемых величин по ф.2.
- Проводятся основные серии экспериментов, в пределах которых вычисляется размах вариаций непосредственных измерений на каждом уровне. Полученные значения по ф.1 сравниваются с критическим диапазоном и делаются выводы о необходимости дополнительных замеров.
- По ф.3 и ф.4 выполняется проверка на выброс наибольшего и наименьшего результата, выбросы и квазивыбросы исключаются.
- Проверяется соответствие выборочного распределения нормальному по ф.5, в любом случае количество уровней не должно быть меньше 10-ти.
- Определяются границы доверительного интервала для среднего значения каждого из параметров.
- Точность метода измерений косвенных величин определяется по ф.6,7 и 8.

Список литературы:

1. *Альтшуль А.Д.* Гидравлические потери на трение в трубопроводах. М.: Наука, 1963. 256 с.
2. ГОСТ Р ИСО 5725-1 – 2002. Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Ч.1 Основные положения и определения. М.: Изд-во стандартов, 2002. 24 с.
3. ГОСТ Р ИСО 5725-2 – 2002. Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Ч.2. Основной метод определения повторяемости и воспроизводимости стандартного метода измерений. М.: Изд-во стандартов, 2002. 33 с.
4. ГОСТ Р ИСО 5725-3-2002. Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Ч. 3. Промежуточные показатели прецизионности стандартного метода измерений. М.: Изд-во стандартов, 2002. 37 с.
5. ГОСТ Р ИСО 5725-6-2002. Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Использование значений точности на практике. М.: Изд-во стандартов, 2002. 43 с.
6. ГОСТ Р 50.1.037-2002. Прикладная статистика. Правила проверки опытного согласия с теоретическим. Непараметрические критерии. М.: Изд-во стандартов, 2002. 43 с.
7. ГОСТ Р 50779.21-2004. Статистические методы. Правила определения и методы расчета статистических характеристик по выборочным данным. Ч.1. Нормальное распределение. М.: Изд-во стандартов, 2004. 48 с.

АННОТАЦИИ ABSTRACTS

Б.Н. Иванов, В.С. Минкин
СОВРЕМЕННЫЕ АСПЕКТЫ ПРОРЫВНЫХ
РЕЗОНАНСНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Перспектива волновых воздействий – резонансные технологии. Фундаментом последних является дифференциация и интеграция процессов в природных и техногенных системах. Их взаимосвязь обусловлена единой вещественно-волновой природой. Новизна теоретических и технических решений в ходе их создания определяется синергизмом сочетания.

Ключевые слова: вещественно-волновая природа, резонансные технологии, дифференциация и интеграция явлений.

А.С. Андреев, О.Г. Дмитриева,
Ю.В. Петровичева
ОБ УСТОЙЧИВОСТИ НУЛЕВОГО
РЕШЕНИЯ СИСТЕМЫ С РАЗРЫВНОЙ
ПРАВОЙ ЧАСТЬЮ

Изучение динамики релейных систем управления приводит к исследованию систем дифференциальных уравнений с разрывными правыми частями [3-5]. В работе дается развитие прямого метода Ляпунова исследования устойчивости таких систем в направлении применения знакопостоянных функций Ляпунова.

Ключевые слова: релейная система, нелинейность, устойчивость, функция Ляпунова.

А.Г. Исавнин, И.И. Миргазов
АСИММЕТРИЧНЫЙ СТОХАСТИЧЕСКИЙ
РЕЗОНАНС В СИСТЕМЕ
СУПЕРПАРАМАГНИТНЫХ
НАНОЧАСТИЦ

Теоретически рассмотрено явление стохастического резонанса в системе однодоменных наночастиц с магнитной анизотропией типа «легкая ось» при наличии дополнительного постоянного поля, приложенного под произвольным углом. Расчеты выполнены в рамках модели дискретных ориентаций для теплового

B.N. Ivanov, V.S. Minkin
MODERN ASPECTS OF THE ADVANCED
RESONANT TECHNOLOGIES

Resonance technologies are the most perspective among wave influences. Their bases are the differentiation and integration of processes in natural and anthropogenic systems. Their correlation is due to their common matter-wave nature. The novelty of theoretical and technical solutions in course of their creation is determined by the synergism of their combination.

Key words: matter-wave nature, resonance technology, effect differentiation and integration.

A.S. Andreev, O.G. Dmitrieva,
U.V. Petrovicheva
THE STABILITY OF THE ZERO
SOLUTION OF SYSTEMS WITH
DISCONTINUOUS RIGHT SIDE

Studying the dynamics of the relay control systems leads to the study of systems of differential equations with discontinuous right sides. In this paper we develop Lyapunov's direct method for studying stability of such systems in the direction of constant signed Lyapunov's functions.

Key words: relay system, nonlinearity, stability, Lyapunov function.

A.G. Isavnin, I.I. Mirgazov
ASYMMETRIC STOCHASTIC
RESONANCE IN A SYSTEM OF
SUPERPARAMAGNETIC
NANOPARTICLES

Phenomenon of stochastic resonance is theoretically considered in a system of single-domain nanoparticles with "easy axis" magnetic anisotropy under auxiliary permanent magnetic field applied at arbitrary angle. Calculations were made in the framework of discrete-orientations model for thermal overbarrier mode of magnetization reversal.

надбарьерного режима перемагничивания. Вычислено выходное отношение сигнала к шуму в зависимости от различных параметров системы.

Ключевые слова: стохастический резонанс, динамическая магнитная восприимчивость, однодоменные суперпарамагнитные наночастицы.

А.А. Лопатин, В.И. Осипова, Г.И. Идрисова
ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ТЕПЛООБМЕНА
ПРИ КИПЕНИИ ФРЕОНА R-134a НА
МИНИ- И МИКРОШЕРОХОВАТЫХ
ПОВЕРХНОСТЯХ

В работе представлены результаты исследования кипения импактных струй фреона R-134a на мини- и микрошероховатых поверхностях в условия стационарного нагрева. Получены зависимости теплоотдачи от плотности теплового потока для различных рабочих поверхностей.

Ключевые слова: кипение, теплоотдача, интенсификация теплообмена, шероховатость.

Г.А. Камаева, О.А. Перегудова
УПРАВЛЕНИЕ МНОГОЗВЕННЫМИ
МАНИПУЛЯТОРАМИ С УПРУГИМИ
СОЧЛЕНЕНИЯМИ НА ОСНОВЕ
ЗАПАЗДЫВАЮЩЕЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ

В работе представлены новые результаты решения задачи о построении управления движением многозвонного манипулятора с учетом свойств упругости в соединительных элементах звеньев и запаздывания в структуре обратной связи. Предложен непрерывный закон управления с насыщением, позволяющий стабилизировать заданное нестационарное движение робота.

Ключевые слова: многозвонный манипулятор, управление с насыщением, упругие шарниры, нелинейные динамические системы.

И.В. Суханов, Г.В. Суханова
РЕЛАКСАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ В
АРМКО – ЖЕЛЕЗЕ ПРИ ДАВЛЕНИЯХ
10 — 40 ГПА

Output signal-to-noise ratio is obtained as a dependence on various parameters of the system.

Key words: Stochastic resonance, dynamic magnetic susceptibility, single-domain superparamagnetic nanoparticles.

А.А. Lopatin, V.I. Osipova, G.I. Idrisova
HEAT EXCHANGE INTENSIFICATION AT
BOILING OF FREON R-134A ON
SURFACES WITH MINI - AND
MICROROUGHNESS

Results of researching boiling of freon R-134a impinging jets on mini- and microroughness surfaces are presented for conditions of stationary heating. Dependences of a convective heat exchange from density of a thermal stream for various working surfaces are gained.

Keywords: boiling, convective heat exchange, intensification of heat exchange, roughness.

О.А. Перегудова, Г.А. Камаева
CONTROL OF MULTI-DOF
MANIPULATORS WITH ELASTIC JOINTS
ON THE BASE OF DELAYED FEEDBACK

This paper presents the new results of the solution of the problem on construction of motion control for the multi-dof manipulators is presented with taking into account properties of elasticity in joints and delayed feedback. Continuous control law with saturation is suggested, which stabilizes non-stationary robot motion.

Keywords: multi-dof manipulator, saturation control, elastic joints, nonlinear dynamical systems.

И.В. Sukhanov, G.V. Sukhanova
RELAXATION PROCESSES IN ARMCO-
IRON AT PRESSURE 10 – 40 GPa
It was found that the thermoelectric power

Обнаружено, что термоэдс армко - железа при давлениях 10-40 ГПа существенно зависит от времени обработки давлением. Впервые экспериментально подтвержден механизм магнитного фазового перехода ферромагнетик - парамагнетик через промежуточное спиновое состояние. Все теоретически предсказанные области давлений, соответствующие различным этапам магнитного перехода ферромагнетик – парамагнетик, и связанные с изменением магнитной структуры имеют особенности барической зависимости термоэдс и времени релаксации термоэдс.

Ключевые слова: время релаксации, ТЭДС, высокие давления, алмазные наковальни, железо.

И.В. Голиков, И.Е. Грачева,
Г.Н. Крейцберг, О.Г. Крейцберг
СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ
КОЛЛОИДНОГО РАСТВОРА
НАНОЧАСТИЦ СЕРЕБРА

Методом электрохимического растворения металлического серебра в водной среде в присутствии стабилизаторов получен коллоидный раствор наночастиц серебра. Изучены основные физико-химические характеристики полученного раствора, его стабильность во времени.

Ключевые слова: наночастицы серебра, дисперсионный состав, стабильность.

О.С. Анисимова, А.Р. Барашев, С.В. Карелов,
С.В. Мамяченков
ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ
КОМПЛЕКСООБРАЗУЮЩЕГО РЕАГЕНТА
ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ ОТРАБОТАННЫХ
ЩЕЛОЧНЫХ АККУМУЛЯТОРОВ

Проведены исследование по изучению комплексообразования этилендиаминтетраацетата натрия с соединениями кадмия, железа и никеля, наличие которых возможно в исходном сырье. Полученные результаты позволяют оценить возможность использования ЭДТА в качестве комплексообразующего растворителя в технологии по переработке никель-кадмиевых батарей.

Armco – Fe at pressures of 10-40 GPa depends on the processing time pressure. First experimentally confirmed mechanism of the magnetic phase transition ferromagnetic – paramagnetic through an intermediate spin state. All the theoretically predicted range of pressures corresponding to different stages of the magnetic transition ferromagnetic - paramagnetic, and the associated change in the magnetic structures have the features of the pressure dependence of thermoelectric power the relaxation time of the thermoelectric power.

Key words: relaxation time, thermoelectric power, high pressure, diamond anvil, iron.

I.V. Golikov, I.E. Gracheva, G.N. Kreuzberg,
O.G. Kreuzberg
SYNTHESIS AND INVESTIGATION OF
PROPERTIES COLLOIDAL SOLUTION OF
SILVER NANOPARTICLES

By electrochemical dissolution of metallic silver in an aqueous medium in the presence of stabilizers obtained colloidal solution of silver nanoparticles. The basic physical and chemical characteristics of the resulting solution, its stability over time.

Key words: silver nanoparticles, dispersion composition, stability.

О.С. Анисимова, А.Р. Барашев, С.В. Карелов,
С.В. Мамяченков
ПОSSIBILITY OF APPLICATION
COMPLEXING REAGENT FOR
PROCESSING OF USED ALKALINE
ACCUMULATORS

The research on study complexing EDTA with compounds of Cd, Fe and Ni was taken, which presence is possibly at feed stock. Draw results permit evaluate availability EDTA in the capacity of complexing solvent in processing technology of Ni-Cd batteries.

Key words: Ni-Cd accumulators, Cd-contain solder pads, leaching, complexing.

Ключевые слова: Ni-Cd аккумуляторы, кадмийсодержащая ламель, выщелачивание, механизм комплексообразования.

О.С. Анисимова, С.В. Карелов,
С.В. Мамяченков, Д.А. Рогожников
ИССЛЕДОВАНИЕ СЕЛЕКТИВНОГО
ВЫДЕЛЕНИЯ СВИНЦА ИЗ
АЗОТНОКИСЛЫХ РАСТВОРОВ
КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ
МНОГОКОМПОНЕНТНОГО ВТОРИЧНОГО
СЫРЬЯ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

Исследование комплексной переработки многокомпонентного вторичного сырья с селективным извлечением цветных металлов позволяет решить ряд серьезных проблем, таких как утилизация техногенных отходов, следовательно, уменьшение вреда, наносимого окружающей среде. Изучено осаждение сульфата свинца, подобраны оптимальные параметры ведения процесса.

Ключевые слова: комплексность, азотнокислое выщелачивание, свинец.

О.С. Анисимова, С.В. Мамяченков,
С.С. Набойченко, Д. Цогтхангай
ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА
ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ МЕДНОГО
КОНЦЕНТРАТА АЗОТНОЙ КИСЛОТЫ
МЕТОДОМ ПЛАНИРОВАНИЯ
ЭКСПЕРИМЕНТА

В работе представлены результаты определения оптимальных параметров выщелачивания медного концентрата, полученные методом полного трехфакторного планирования эксперимента.

Ключевые слова: медный концентрат, азотная кислота, матрица планирования эксперимента.

С.А. Антонов, Ю.К. Евдокимов, А.Ю.
Кирсанов, Р.Г. Насырова, Д.В. Погодин
ВИРТУАЛЬНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ В ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ
ОРИЕНТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ
Статья посвящена применению современных информационных технологий для подготовки

O.S. Anisimova, S.V. Karelov,
S.V. Mamyachenkov, D.A. Rogozhnikov
INVESTIGATED OF LEAD SELECTIVE
EXTRACTION FROM NITRATE
SOLUTIONS OF INTEGRATED
TREATMENT OF MANY-COMPONENT
SECONDARY RAW MATERIALS OF
NONFERROUS METALS

Investigated of integrated treatment of many-component electronic waste with selective extraction of nonferrous metals permits to decide a number of serious problems, such as utilization of anthropogenic waste products, hence decrease of harm, that cause to environment. Deposition of lead sulphate is studied, optimum parameters of conducting process are picked up.

Keywords: integration, nitrate leaching, lead.

O.S. Anisimova, S.V. Mamyachenkov,
S.S. Naboychenko, D. Tsogthangay
OPTIMIZATION OF THE NITRATE
LEACHING PROCESS OF THE
COPPER CONCENTRATE BY THE
METHOD OF PLANNING AN
EXPERIMENT

In this study, the results of determining the optimal parameters of leaching copper concentrate obtained by the method of complete three-factor planning of experiment are presented.

Key words: copper concentrate, nitric acid, matrix of planning an experiment.

S.A. Antonov, Y.K. Evdokimov, A.Y.
Kirsanov, R.G. Nasirova, D.V. Pogodin
VIRTUAL INFORMATION
TECHNOLOGIES AT PROFESSIONAL
ORIENTATION OF TRAINERS

This article shows the ability of using resent information technologies in multilevel

инженерных кадров в многоуровневой системе образования – от школы до ВУЗа. Представлен комплексный лабораторный практикум на основе технологии виртуальных измерительных приборов, разработанный в среде программирования LabVIEW, в сочетании с применением современных средств мультимедиа. Практикум рекомендуется для ранней профессиональной ориентации, развития технического творчества, получения навыков рабочей специальности в будущей инженерной деятельности.

Ключевые слова: информационные технологии, технология виртуальных приборов, профессиональная ориентация, LabVIEW.

И.А. Апкаров, К.К. Колосов
ИССЛЕДОВАНИЕ ВНЕШНИХ
ПОКАЗАТЕЛЕЙ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ ПРИ
РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБАХ
СМЕСЕОБРАЗОВАНИЯ

Представлена экспериментальная моторная установка на базе судового малоразмерного дизеля 2Ч 9,5/11, позволяющая проводить экспериментальные исследования газодизельного цикла при организации его в данном дизеле при различных формах камеры сгорания. Представлены результаты экспериментальных исследований внешних показателей работы судового дизеля 2Ч 9,5/11 при различных способах смесеобразования (вихрекамерный дизель и дизель с камерой сгорания типа ЦНИДИ, расположенной в поршне). Результаты представлены при работе двигателей по винтовой и нагрузочной характеристикам. Проведен анализ полученных результатов, которые будут использованы в дальнейшем в качестве отправной точки для сравнения при исследованиях газодизельного цикла.

Ключевые слова: ДВС, судовые дизели, газодизельный цикл, вихрекамерное смесеобразование.

А.С. Афанасьев, А.С. Волков, А.С. Карпов,
М.А. Машковцев, О.И. Ребрин
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЫСОКИХ

engineering educational system – from school to university. The virtual measurement devices technology based Aircraft Electric 1.0 laboratory practical course been presented. The software of the course was developed with LabVIEW programming system and has a multimedia support. Presented Aircraft Electric 1.0 course is recommended for professional orientation, developing of technical creativity and working speciality skills for engineering activity in a future.

Key words: information technologies, virtual instrument technology, professional orientation, LabVIEW.

I.A. Apkarov, C.C. Colosov
STUDY OF THE EXTERNAL FACTORS OF
THE SHIP DIESELS UNDER DIFFERENT
WAY OF FORMATION OF A MIX

Experimental motor installation will Presented on the base small size marine diesel 2Ч 9,5/11, allowing conduct the experimental studies an gas-diesel cycle at organizations it in given diesel under different forms of the camera of combustion. The Presented results of the experimental studies of the external factors of the functioning the marine diesel 2Ч 9,5/11 under different way of formation of a mix. The Results are presented when functioning the engines on screw and power feature. The Organized analysis got result, which will are used hereinafter as starting point for comparison at study of gas-diesel cycle.

Keywords: ICE, marine diesel, gas-deisel cycle, screw camera`s formation of a mix.

A.S. Afanasiev, A.S. Volkov,
A.S. Karpov, M.S. Mashkovtsev, O.I. Rebrin
RESEARCH INFLUENCE OF HI

ТЕМПЕРАТУР НА СВОЙСТВА ОКСИДНОЙ СИСТЕМЫ Ce-Zr-Al-O

В статье представлены результаты исследования изменения ключевых свойств оксидной системы Ce-Zr-Al-O. В работе выявлены основные закономерности в изменении свойств от массового соотношения элементов композиции, выявлен способ повышения термической устойчивости наноконпозиции.

Ключевые слова: термическая стабильность, оксидная система, оксид церия, оксид циркония, оксид алюминия.

В.Ф. Бай, В.В. Воронцов, А.Н. Краев,
А.В. Набоков

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ПЕСЧАНОЙ АРМИРОВАННОЙ СВАИ В ВОДОНАСЫЩЕННОМ ГЛИНИСТОМ ГРУНТЕ

В статье приведены результаты экспериментальных исследований и численного моделирования напряженно-деформированного состояния песчаной армированной сваи, внедрённой в водонасыщенное глинистое основание. На основе лабораторных экспериментальных данных дана сравнительная оценка напряженно-деформированного состояния основания с использованием песчаной сваи и с использованием песчаной армированной сваи.

Ключевые слова: песчаная, свая, армированный, напряженно деформированное, водонасыщенный, глинистый, основание, экспериментальные, грунт.

В.Ф. Бай, А.Н. Краев ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ ПЛОЩАДНЫХ ФУНДАМЕНТОВ НА СЛАБОМ ГЛИНИСТОМ ОСНОВАНИИ, УСИЛЕННОМ ПЕСЧАНОЙ АРМИРОВАННОЙ ПОДУШКОЙ

В статье представлены результаты исследования работы площадных фундаментов, возводимых на слабых

TEMPERATURES ON THE Ce-Zr-Al-O OXIDIES SYSTEM PROPERTIES

This paper presents the results of the study of main properties of Ce-Zr-Al-O oxides system. There is main properties overpatching patterns are presented at this article; there is method of increasing of nanocomposition thermal stability were detected at this work.

Keywords: thermal stability, oxides system, cerium oxide, zirconium oxide, aluminum oxide.

V.F. Bai, A.N. Krayev, A.V. Nabokov,
V.V. Vorontsov

EXPERIMENTAL RESEARCH AND NUMERICAL MODELLING OF REINFORCED SANDY PILE IN WATER- SATURATED CLAYEY GROUND

The paper summarizes the results of experimental research and numerical modelling of stress-strain condition of reinforced sandy pile embedded in water-saturated clayey soil. Comparative analysis based on laboratory experimental data of stress-strain condition of soil with sandy pile and reinforced sandy pile is presented.

Key words: sandy pile, reinforced, stress-strain, water-saturated, clayey, soil, experimental, ground.

V.F. Bai, A.N. Krayev EXPERIMENTAL RESEARCH ON MAT FOUNDATIONS BEHAVIOR ON WEAK CLAYEY SOIL REINFORCED WITH SAND CUSHION

The paper presents the results of study on behavior of mat foundations being erected on weak clayey grounds reinforced with geosynthetic material contour reinforcement sand cushion.

глинистых грунтах с усилением основания песчаной подушкой, армированной по контуру геосинтетическим материалом.

Ключевые слова: фундамент, слабый глинистый грунт, песчаная подушка армированная геосеткой.

В.Ф. Беккер, И.Ф. Киссельман
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
АБСОРБЦИИ АММИАКА В КОЛОННЕ С
ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ПОДВИЖНОЙ
НАСАДКОЙ

На базе математически выраженных закономерностей, описывающих физико-химических процессы, сопровождающие абсорбцию аммиака водой в трехфазной гидродинамической структуре потоков, возникающей при работе абсорбера с вращающейся псевдооживленной насадкой, выполнена постановка и решение задачи компьютерного моделирования. Приведено в виде информационной матрицы описание последовательного алгоритма решения модели и способ его компьютерной реализации. Получены оценки параметрической чувствительности модели процесса.

Ключевые слова: абсорбция, подвижная насадка, аммиак, моделирование, чувствительность параметров.

Т.Г. Бунькова
ОБ ОПТИМАЛЬНОМ СООТНОШЕНИИ
ТВЕРДОСТИ ЦЕЛЬНОКАТАНОГО
КОЛЕСА ГРУЗОВОГО ВАГОНА И
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО РЕЛЬСА

В работе представлены результаты исследования износа цельнокатаного колеса повышенной твердости и железнодорожного рельса. Разработана модель трения пары колесо-рельс, учитывающая изменение твердости материала колеса в пределах, предусмотренных стандартом, а также нагрузки, действующие в процессе эксплуатации. Даны объяснения статистическим данным по эксплуатации цельнокатаных колес повышенной твердости и рекомендации по выбору оптимального

Key words: foundation, weak clayey ground, sand cushion reinforced with geogrid.

V.F. Becker, I.F. Kisselman
MATHEMATICAL MODELING OF THE
ABSORPTION OF AMMONIA IN THE
COLUMN WITH A ROTATING NOZZLE
MOVING

On the basis of a mathematical expression patterns that describe the physical and chemical processes accompanying the absorption of ammonia water in a three-phase hydrodynamic flow, encountered when using an absorber with a rotating fluid nozzle, made the statement and solution of the problem of computer modeling. Given in the form of an information matrix description of the serial algorithm for solving the model and the way its computer implementation. Obtained estimates of the parametric sensitivity of the model process.

Keywords: absorption, moving nozzle, ammonia, modeling, sensitivity settings.

T.G. Bunkova
ABOUT THE OPTIMAL HARDNESS RATIO
OF SOLID-ROLLED WHEEL OF FREIGHT
CAR AND RAILROAD RAIL

This paper presents the study results of the wear of solid-rolled wheel having an increased hardness and railroad rail. The friction model of the wheel-rail pair is developed considering the variations in wheel material hardness provided for in the standards, as well as the loads acting during wheel operation. Statistical data on the performance of solid-rolled wheels with the increased hardness are explained and recommendations on the choice of the optimal hardness ratio of wheel material and rail are given.

Key words: wheel, rail, hardness ratio, wear

соотношения твердости материала колеса и рельса.

Ключевые слова: колесо, рельс, соотношение твердости, износостойкость.

Т.Г. Виноградова, П.М. Салов, Д.П. Салова
КАЧЕСТВО ОБРАБОТАННЫХ
ОТВЕРСТИЙ ПРИ
ЭЛЕКТРОКОРУНДОВОМ И АЭРОБОРНОМ
ШЛИФОВАНИИ

Изложены результаты исследований геометрической точности, микротвердости и остаточных напряжений в поверхностном слое при шлифовании отверстий в стальных заготовках. Выявлена взаимосвязь волнистости с автоколебаниями. Представлена новая гипотеза формирования остаточных напряжений. Выявлены преимущества аэробных кругов.

Ключевые слова: внутреннее шлифование, аэробор, геометрическая точность, микротвердость, остаточные напряжения.

Д.В. Вожегов, Д.А. Страбыкин
МЕТОД ПАРАЛЛЕЛЬНОГО
ДЕДУКТИВНОГО ЛОГИЧЕСКОГО
ВЫВОДА С ОПРЕДЕЛЕНИЕМ ФАКТОВ
Предлагается метод параллельного дедуктивного вывода с определением фактов. Отмечаются актуальность, новизна и достоинства метода.

Ключевые слова: дедуктивный логический вывод, определение фактов, параллельные вычисления.

В.И. Воловач
ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ ЗОН
ОБНАРУЖЕНИЯ
РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ
ОХРАНЫ ПЕРИМЕТРОВ ОБЪЕКТОВ
Получены выражения для определения размеров зоны обнаружения турникетных радиотехнических датчиков. Определены максимумы зоны необнаружения для различных практически значимых случаев. Рассмотрена оптимизация пространственного расположения ДОС с целью получения заданных геометрических

resistance.

T.G. Vinogradova, P.M. Salov, D.P. Salova
QUALITY OF THE PROCESSED
APERTURES AT ALEKTROKORUNDIC
AND AEROBORIC GRINDING
Results of researches of geometrical accuracy, microhardness and residual pressure in a blanket are stated at grinding of apertures in steel preparations. The interrelation of a sinuosity with self-oscillations is revealed. The new hypothesis of formation of residual pressure is presented. Advantages of aerobic circles are revealed.

Key words: internal grinding, aeropine forest, geometrical accuracy, microhardness, residual pressure.

D.V. Vozhegov, D.A. Strabikin
THE PARALLEL METHOD INFERENCE
WITH FACTS DETERMINATION
Developed a method for the inference of conclusions with facts determination. Explains the relevance, novelty and dignity of this method.

Keywords: deductive inference, determination of the facts, parallel computing.

V.I. Volovach
DEFINITION OF THE SIZES OF
DETECTION ZONES OF
RADIO ENGINEERING SENSORS FOR
PROTECTION OF OBJECTS PERIMETERS
The expressions for definition of the sizes detection zone of turnstile radio engineering sensors are received. The maxima of none-detection zone for various practical cases are determined. The optimization of a spatial arrangement GPP is considered with the purpose of reception of the given geometrical sizes of detection zone.

размеров зоны обнаружения.

Ключевые слова: датчик охранной сигнализации, турникетный радиолучевой датчик, диаграмма направленности, зона обнаружения

Е.А. Гербер, В.Н. Кутрунов
О ДВИЖЕНИИ КОЛЬЦА ВЯЗКОЙ
НЕСЖИМАЕМОЙ КАПИЛЛЯРНОЙ
ЖИДКОСТИ

Объектом изучения является плоское кольцо вязкой несжимаемой капиллярной жидкости, имеющее две свободные границы. В данной статье предлагается постановка задачи о движении рассматриваемого объекта. Данная задача рассмотрена в рамках классической и неклассической моделей гидродинамики.

Ключевые слова: вязкая несжимаемая капиллярная жидкость, уравнения Навье-Стокса, свободные границы.

А.П. Исаев, Т.И. Искендерли, С.А. Каргин
РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ РАСЧЕТА
ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОЧЕГО ЦИКЛА
ДВИГАТЕЛЯ С КОМБИНИРОВАННЫМ
СМЕСЕОБРАЗОВАНИЕМ И
ВОСПЛАМЕНЕНИЕМ ОТ СЖАТИЯ

Проведен анализ современных методов расчета показателей рабочего цикла ДВС позволяющий сделать вывод о том, что модель теплового расчета Гриневецкого-Мазинга в достаточной степени приближена к реальному процессу, протекающему в цилиндре двигателя и при инженерных расчетах дает неплохую точность результатов. Предложена методика расчета показателей рабочего цикла двигателя с комбинированным смесеобразованием и воспламенением от сжатия. Выявлены несоответствия между расчетными и экспериментальными данными для устранения которых необходимо проводить дополнительные экспериментальные исследования. Несоответствия вызваны тем, что модель расчета не учитывает особенностей рабочего процесса двигателя с комбинированным смесеобразованием.

Key words: the sensor of the security signal system, turnstile radio beam sensor, diagram of an orientation, zone of detection.

Е.А. Gerber, V.N. Kutrunov
ABOUT MOUTION OF RING OF VISCOUS
INCOMPRESSIBLE CAPILLARY FLUID

The object of study is the ring of a viscous incompressible capillary fluid, which has two free boundaries. This article discusses the problem of motion of this object. This problem is considered in the framework of classical and nonclassical models of hydrodynamics.

Key words: viscous incompressible capillary fluid, Navier-Stokes equations, free boundary.

A.P. Isaev, T.I. Isgenderli, S.A. Kargin
DEVELOPMENT OF THE METHODS OF
THE CALCULATION OF THE FACTORS
WORKER CYCLE OF THE ENGINE WITH
COMBINED FORMATION OF A MIX AND
IGNITION FROM COMPRESSION

The Organized analysis of the modern methods of the calculation of the factors worker cycle DVS allowing draw a conclusion about that that model of the heat calculation Grineveckogo-Mazinga in sufficient degree aproximate to real process, running in cylinder of the engine and under engineering calculation gives not bad accuracy a result. The Offered methods of the calculation of the factors worker cycle of the engine with combined formation of a mix and ignition from compression. The Revealled discrepancies between accounting and experimental data that is caused that that model of the calculation does not take into account the particularities a worker process of the engine with combined formation of a mix. For eliminating revealed discrepancy necessary to conduct the additional experimental studies.

Key words: ICE, marine diesel, Working process, combined formation of a mix, ignition

Ключевые слова: ДВС, судовые двигатели, рабочий процесс, комбинированное смесеобразование, воспламенение от сжатия, индикаторные диаграммы.

from compression, display diagrams.

В.В. Истомин, Т.В. Истомина, А.В. Киреев,
А.И. Сафронов

V.V. Istomin, T.V. Istomina, A.V. Kireev,
A.I. Safronov

ПРОГРАММНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ
ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМЫ
ДИСТАНЦИОННОЙ
МУЛЬТИДИАГНОСТИКИ И
РЕАБИЛИТАЦИИ БОЛЬНЫХ ПОСЛЕ
ЭНДОПРОТЕЗИРОВАНИЯ
ТАЗОБЕДРЕННОГО СУСТАВА

METHODICAL SOFTWARE FOR REMOTE
MULTIDIAGNOSTIC AND
REHABILITATION SYSTEM FOR
PATIENTS AFTER HIP
REPLACEMENT

Данная работа заключается в разработке программно-методического обеспечения дистанционной системы реабилитации больных после эндопротезирования суставов нижних конечностей на основе биомеханического мониторинга, осуществляемого через Интернет. Технология представляет собой практически значимую систему эффективных медицинских и технических решений, позволяющих проводить больному полноценную реабилитацию после эндопротезирования в домашних условиях.

This work consists of working out of methodical software remote rehabilitation system for patients after replacement lower extremities arthroplasty on the basis of biomechanical monitoring carried out over the Internet. The technology represents a practically meaningful system of the effective medical and technical solutions that allow for complete patient rehabilitation at home after endoprosthesis replacement.

Key words: endoprosthesis replacement, arthroplasty, multidiagnostics, rehabilitation, stabilography, posturology.

Ключевые слова: эндопротезирование, мультидиагностика, реабилитация, стабилметрия, постурология.

Р.В. Каргин
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ
КУЗОВНЫХ МУСОРОВОЗОВ

R.V. Kargin
DEVELOPMENT OF BODY GARBAGE
TRUCK CONSTRUCTION

В работе приведены результаты анализа надежности и рабочих процессов кузовных мусоровозов. Выявлены технические и технологические особенности конструкций, снижающие эффективность их применения. Предложены варианты технических решений по совершенствованию конструкций кузовных мусоровозов, позволяющие повысить производительность, надежность и экологичность работы.

Results of reliability and operational analyses of body garbage trucks are presented. Technical and technological design features revealed to lower their operational efficiency are produced. Options of engineering solutions for upgrading body garbage trucks promoting improvement in their efficiency, reliability and ecological compatibility are submitted.

Key words: body garbage truck, handler, gripping device, hydraulic drive.

Ключевые слова: кузовной мусоровоз, манипулятор, захват, гидропривод.

А.Н. Кролевец, А.М. Макеев
ПРОГРАММА ПОИСКА ПЛОСКОСТЕЙ
ПРОСТРАНСТВЕННОГО
ГРУППИРОВАНИЯ ГИПОЦЕНТРОВ
ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

К настоящему времени предложен ряд моделей структурного строения среды, в которых среда состоит из блоков с плоскими границами, которые можно трактовать как разломы. Разломы геофизической среды могут выявляться по группированию гипоцентров землетрясений. В работе представлена компьютерная программа, позволяющая осуществлять поиск плоскостей, с использованием каталогов землетрясений.

Ключевые слова: плоскости, группирование, гипоцентры, сейсмопрогноз, моделирование.

Г.В. Кузнецов, М. Полсонграм
ЗАВИСИМОСТЬ СОСТАВА ПРОДУКТОВ
ПИРОЛИЗА ДРЕВЕСНОЙ БИОМАССЫ ОТ
РЕЖИМА ТЕПЛОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Представлены результаты экспериментального исследования процессов термического разложения четырех типов древесной биомассы (липы, акации, эвкалипта и сосны). Они были выбраны как типичное сырье возобновляемых источников энергии и нагревались в специальном реакторе с неподвижным слоем. Цель исследований – изучение влияния температуры пиролиза на процесс получения газообразных, жидких и твердых продуктов процесса пиролиза.

Ключевые слова: биомасса, пиролиз, термическая обработка, реактор, продукты пиролиза.

А.П. Левашов, В.М. Шишкин
МОДЕЛИРОВАНИЕ РАССЕЯНИЯ
ЭНЕРГИИ В ВОЛОКНИСТОМ
КОМПОЗИЦИОННОМ МАТЕРИАЛЕ ПРИ
РЕЗОНАНСНЫХ КОЛЕБАНИЯХ
КОНСТРУКЦИЙ

В работе построен комплексный гистерезисный оператор для учета рассеяния энергии при резонансных колебаниях конструкций из многослойных

A.N. Krolevets, A.M. Makeev
THE PROGRAM OF REVEALING THE
EARTHQUAKES HYPOCENTERS
SPATIAL GROUPING PLANES

Several geophysical structure models have been considered in which the media consists of the blocks with flat faces which can be treated as faults. These faults can be found by means of the earthquakes hypocenters grouping. This paper presents the computer program for searching the planes on the basis of the earthquake catalogue.

Key words: planes, grouping, hypocenters, seismic forecast, modelling.

G.V. Kuznetsov, M. Polsongram
WOOD BIOMASS PYROLYS PRODUCTS
COMPOUND DEPENDENCE FROM HEAT
INFLUENCE CONDITIONS

Four kinds of wood biomass (lime, acacia, eucalypt, pine) thermic distraction processes experimental investigation results are presented. This materials were selected as examples of renewed energy source, tipical raw materials and were heated in special reactor. The aim of investigation – researching of temperature influence on pyrolysis (gas, solid u liquid) products producing process.

Key words: biomass, pyrolysis, thermic influence, reactor, pyrolysis products.

A.P. Levashov, V.M. Shishkin
MODELING OF DISPERSE ENERGY IN
FIBROS COMPOSITE MATERIAL AT
RESONANCE OSCILLATIONS OF THE
CONSTRUCTION

The complex hysteretic operator for accounting dispersed energy at the resonance oscillations of the construction made of multi-layers composite materials was designes in the work. The given operator was tested for resonance

композиционных материалов, армированных однонаправленными волокнами. Проведена апробация данного оператора на примере определения резонансной динамической реакции композитного стержня. Разработан итерационный алгоритм решения системы разрешающих уравнений для учета амплитудно-зависимого рассеяния энергии в материале.

Ключевые слова: композиционный материал, демпфирование, резонанс, конечный элемент.

Б.В. Лукутин, Е.Ж. Сарсикеев
МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ
ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ВЕТРОГЕНЕРАТОРОВ

Рассмотрен метод моделирования динамических характеристик ветрогенераторов с горизонтальной осью вращения. Особое внимание уделено механическим переходным процессам. Приведены описание метода и результаты его тестирования.

Ключевые слова: энергоэффективность ветроэлектростанций, динамические характеристики, момент и частота вращения ветротурбины.

Л.А. Мальцева, Т.В. Мальцева, Н.Н. Озерец,
К.Д. Храмова, В.А. Шарапова
ВЛИЯНИЕ ТЕРМОПЛАСТИЧЕСКОЙ
ОБРАБОТКИ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ И
РЕЛАКСАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА
МЕТАСТАБИЛЬНОЙ АУСТЕНИТНОЙ
СТАЛИ

Рассмотрены механические и релаксационные свойства в коррозионностойкой метастабильной аустенитной стали 03X14N11K5M2YUT в зависимости от предварительных обработок и температурно-временных условий их проведения.

Ключевые слова: релаксация, упругость, упругое последствие, холодная пластическая деформация, плющение, старение, интерметаллид.

dynamic reaction of a composite bar. The algorithm for solving a system of permission equations accounting the amplitude-dependent energy dispersion in the material was worked out.

Key words: composite material, damping, resonance, finite element.

B.V. Lukutin, E.Zh. Sarsikayev
RESEARCH TECHNIQUE OF WIND
GENERATOR'S DYNAMIC
CHARACTERISTICS

The method for modeling of dynamic characteristics of wind generator with a horizontal axis of rotation is considered. The special attention is given mechanical transients. The method description, testing results is presented.

Key words: power efficiency of wind-generator, dynamic characteristics, the moment and frequency of rotation of wind turbine.

L.A. Maltseva, T.V. Maltseva, N.N. Ozerets,
K.D. Khramtsova, V.A. Sharapova
THE EFFECT OF THERMOPLASTIC
PROCESSING ON THE MECHANICAL
PROPERTIES AND RELAXATION OF
METASTABLE AUSTENITIC STEEL

The mechanical and relaxation properties of metastable austenitic stainless steel 03H14N11K5M2YUT have been examined depending on the pre-treatment and its time-temperature conditions.

Key words: relaxation, elasticity, elastic aftereffect, cold plastic deformation, lamination, aging, intermetallic phase.

А.В. Минаева, А.В. Набоков, Ю.А. Новиков
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ
ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ ПЕСЧАНОГО
АРМИРОВАННОГО МАССИВА В
ВОДОНАСЫЩЕННОМ ГЛИНИСТОМ
ГРУНТЕ

В статье описаны результаты экспериментально-теоретических исследований работы песчаного армированного массива в водонасыщенном глинистом грунте. Дана сравнительная оценка на основе лабораторных экспериментальных и теоретических данных по несущей способности основания усиленного песчаным армированным массивом различной длины. Приведены результаты экспериментальных и теоретических исследований работы песчаного армированного массива, осадки массивов различной длины, а так же расчетные значения распределений вертикальных перемещений в грунтовом основании.

Ключевые слова: песчаный армированный массив, геосинтетическая сетка, водонасыщенный глинистый грунт.

Д.В. Никольский
ВКЛАД ТРАНСПОРТНОЙ НАУКИ В
РАЗВИТИЕ ТЕХНИЧЕСКОЙ
ТЕРМОДИНАМИКИ. БЕТАНКУР И
КЛАПЕЙРОН КАК ОСНОВОПОЛОЖНИКИ
ТЕПЛОТЕХНИКИ В РОССИИ

В работе представлены результаты изучения работ ученых Института корпуса инженеров путей сообщения (ныне Петербургский государственный университет путей сообщения) в области теплотехники. Дан сравнительный анализ их вклада в развитие термодинамики. Приведены описания инженерных изобретений.

Ключевые слова: теплотехника, техническая термодинамика, паровая машина.

Д.С. Новиков, А.И. Яманин
СНИЖЕНИЕ ВИБРОАКТИВНОСТИ
СИЛОВОГО АГРЕГАТА
АВТОМОБИЛЯ ЗА СЧЕТ ВЫБОРА

A.V. Minaeva, A.V. Nabokov, I.A. Novikov
EXPERIMENTAL AND THEORETICAL
STUDIES OF SANDY REINFORCED PILE
EMBEDDED INTO WATER-SATURATED
CLAY SOIL

The paper describes the results of experimental and theoretical studies of sandy reinforced pile embedded into water-saturated clay soil. Comparative analysis based on laboratory experimental and theoretical data of the load-bearing capacity of the foundation by increasing the length of pile. Results of experimental and theoretical studies of sandy reinforced pile, settlements of pile different length, experimental data and calculated values of the distribution of vertical displacements in soil under is presented.

Key words: sandy reinforced pile, geomesh, water-saturated clay soil.

D.V. Nikolsky
THE TRANSPORT SCIENCE
CONTRIBUTION TO THE DEVELOPMENT
OF TECHNICAL THERMODYNAMICS.
BETANCOURT AND CLAPEYRON AS THE
FOUNDERS OF HEAT ENGINEERING IN
RUSSIA

The results of the study of works of scientists of the Institute of Railway Engineers (now St. Petersburg State Transport University) in the field of heat. A comparative analysis of their contribution to the development of thermodynamics. The descriptions of engineering inventions.

Key words: thermal engineering, technical thermodynamics, the steam engine.

D.S. Novikov, A.I. Yamanin
REDUCTION OF VIBRATION OF THE
AUTOMOTIVE POWER UNIT BY
SELECTING THE OPTIMAL ORDER OF

ОПТИМАЛЬНОГО ПОРЯДКА РАБОТЫ ДВИГАТЕЛЯ

В статье рассматривается возможность улучшения вибрационных свойств силового агрегата (двигатель + сцепление + коробка передач) за счет изменения порядка работы цилиндров двигателя. На основании проведенных расчетных исследований порядков работы двигателя 8 ЧН 13/14 были даны рекомендации по изменению порядка работы цилиндров.

Ключевые слова: вибрационная активность, порядок работы цилиндров двигателя, силовой агрегат.

А.А. Орлов МЕТОДИКА ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ МНОГОПРОХОДНОЙ ОБРАБОТКИ НА СТАНКАХ С ЧПУ

В работе представлены теоретические и практические результаты по управлению режимами резания при обработке деталей на станках с ЧПУ. Особое внимание уделено многопроходной обработке. Для которой описывается теория нахождения оптимального плана обработки по критерию максимальной производительности.

Ключевые слова: станки с ЧПУ, многопроходная обработка, оптимальные режимы резания.

С.В. Павликов, Г.А. Шепелев К МЕТОДУ ФУНКЦИОНАЛОВ ЛЯПУНОВА В ЗАДАЧЕ ОБ УСТОЙЧИВОСТИ ФУНКЦИОНАЛЬНО- ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ С РАЗРЫВНОЙ ПРАВОЙ ЧАСТЬЮ

Исследуется устойчивость разрывных функционально-дифференциальных уравнений с разрывной правой частью. Представлено развитие прямого метода Ляпунова для таких систем с использованием знакопостоянных функционалов.

Ключевые слова: функционал Ляпунова, разрывное функционально-дифференциальное уравнение, устойчивость, нелинейность.

ENGINE

The article reviews the possibility of improving the vibration properties of power unit (engine + clutch + gearbox) by changing the order of the engine cylinders. On the basis of computational research orders of the motor 8 CHN 13/14 recommendations for changing the order of the cylinders were given.

Key words: engine vibration, the order of cylinders, power unit.

A.A. Orlov METHOD OF INCREASING PRODUCTIVITY MULTIPASS MACHINING CNC

The paper presents theoretical and practical results of cutting management regimes in the processing of parts on CNC machines. Particular attention is paid to multipass processing. For describing the theory of finding the optimal treatment plan by the criterion of maximum productivity.

Keywords: CNC machines, multipass processing, the optimum cutting.

S.V. Pavlikov, G.A. Shepelev ON THE DIRECT LYAPUNOV METHOD IN STABILITY PROBLEMS OF FUNCTIONAL DIFFERENTIAL EQUATIONS WITH DISCONTINUOUS RIGHT-HAND SIDE

Stability of discontinuous functional differential equations is investigated. Direct Lyapunov method extension is presented for such systems with use of sign-constant functionals.

Key words: Lyapunov functional, discontinuous functional differential equation, stability, nonlinearity.

А.В. Павлов

ОБНАРУЖЕНИЕ АНОМАЛЬНОЙ
АКТИВНОСТИ В РЕЛЯЦИОННЫХ БАЗАХ
ДАННЫХ НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННЫХ
ИММУННЫХ СИСТЕМ С
ОТРИЦАТЕЛЬНЫМ ОТБОРОМ

Используемые в настоящее время механизмы обеспечения безопасности реляционных баз данных основаны на возможностях операторов языка SQL и являются неоптимальными, поскольку неустойчивы к появлению новых видов атак, а также незащищены от злоумышленного воздействия легитимных пользователей. В данной статье рассматривается методика обнаружения поведенческих аномалий, основанная на применении алгоритма отрицательного отбора с варьируемым радиусом детекторов. Предлагаемый подход на основе анализа синтаксических особенностей построения запросов позволяет обнаруживать аномальное поведение, включая новые виды атак, с большей эффективностью, чем существующие методики.

Ключевые слова: обнаружение аномалий, отрицательный отбор, детекторы.

Д.И. Прошин

КОНЦЕПЦИЯ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ
МЕХАНИЗМА ПОЗНАВАТЕЛЬНОЙ
ДЕЯТЕЛЬНОСТИ КАК
ДВУХСТОРОННЕГО ПРОЦЕССА
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ

В статье рассматривается механизм профессиональной подготовки как двусторонний процесс взаимодействия взаимосвязанных многослойных интеллектуальных систем: обучающегося и преподавателя, результат функционирования которых – управление познавательной деятельностью обучающегося посредством повышения его уровня самоорганизации и самообучения при непрерывном снижении степени явного участия преподавателя в управлении обучением.

Ключевые слова: профессиональная

A.V. Pavlov

ANOMALOUS ACTIVITY DETECTION IN
RELATION DATABASES BASED ON
ARTIFICIAL IMMUNE SYSTEMS WITH
NEGATIVE SELECTION

Nowadays using relation databases safety mechanisms are based on SQL operators possibilities and are not optimum as are unstable to occurrence of new kinds of attacks, and also are unprotected from malicious influence of legitimate users. In this paper the technique of behavioral anomalies detection, based on application of negative selection algorithm with the varied radius of detectors is considered. The offered approach based on syntactic features analysis of queries construction allows to detection anomaly behavior including new kinds of attacks with greater efficiency, than existing techniques.

Keywords: anomaly detection, negative selection, detectors.

D.I. Proshin

CONCEPT PRESENTATION MECHANISM
COGNITIVE ACTIVITY IN BILATERAL
INTERACTION PROCESS MULTILAYER
INTELLIGENT SYSTEMS

The article discusses the mechanism of training as a two-way interaction between interconnected multilayer intelligent systems: student and teacher, the result of whose functioning - management of the cognitive activity of learning by increasing its level of self-organization and self in continuous decrease in the degree of apparent involvement of teachers in management training.

Key words: training, system analysis, model training process, a complex stratified training.

*подготовка, системный анализ, модель
процесса обучения, комплексная
стратифицированная профессиональная
подготовка.*

В.Л. Снежко

СОВРЕМЕННЫЕ СПОСОБЫ ОБРАБОТКИ
ДАННЫХ В ИССЛЕДОВАНИЯХ
ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СОПРОТИВЛЕНИЙ
ТУРБУЛЕНТНЫХ ПОТОКОВ

При экспериментальном исследовании гидравлических сопротивлений напорных потоков необходимо не только соблюдение критериев подобия модели и натурного трубопровода, но и обеспечение условий повторяемости и прецизионности. Изложены способы формирования выборочной совокупности и обработки эмпирических данных согласно требованиям Российских и международных стандартов.

*Ключевые слова: гидравлические
сопротивления, турбулентное течение,
выборочные исследования.*

V.L. Snezhko

MODERN METHODS OF DATA
PROCESSING IN RESEARCH HYDRAULIC
RESISTANCE OF TURBULENT FLOWS

In the experimental study of hydraulic resistance of turbulent flows is necessary to observe the similarity criteria and to ensure conditions of repeatability and precision. The article presents the methods of forming a sample and data processing in accordance with the requirements of Russian and international standards.

*Key words: hydraulic resistance, turbulent
flow, the sampling method.*

Публичный лицензионный договор-оферта

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.

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК
ПОВОЛЖЬЯ

Сборник научных статей

№1 2011

Направления:

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ
ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ
ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

www.ntvp.ru

Свидетельство № ПИ № ФС77-41672 от 13 августа 2010г.

Подписано в печать 06.04.2011 Формат 60 x 84 1/8. Печать Riso.

23,0 усл.печ.л. 25,8 уч.изд.л. Тираж 900 экз. Заказ 126.

© Научно-технический вестник Поволжья

тел.(843) 290-60-15

факс:(843) 292-18-85

Отпечатано с готового оригинал-макета

ООО «Научно-технический вестник Поволжья»