

СОВРЕМЕННЫЕ НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

№5, 2013

Электронная версия
<http://www.rae.ru/snt>
12 выпусков в год
Импакт фактор РИНЦ (2011)= 0,170

Журнал основан в 2003 г.
ISSN 1812–7320

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

М.Ю. Ледванов

ЗАМ. ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

Н.Ю. Стукова

Ответственный секретарь

М.Н. Бизенкова

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

д.т.н., профессор
д.т.н., профессор
д.ф.-м.н., профессор
д.т.н., профессор
д.т.н., профессор
д.т.н., профессор
д.т.н., профессор
д.т.н., профессор
д.т.н., профессор
д.т.н., профессор
д.т.н., профессор
д.т.н., профессор
д.т.н., профессор
д.т.н., профессор
д.т.н., профессор
д.т.н., профессор
д.т.н., профессор
д.т.н., профессор
к.ф.-м.н.

Антонов Александр Владимирович
Беляев Владимир Львович
Бичурин Мирза Имамович
Гилёв Анатолий Владимирович
Грызлов Владимир Сергеевич
Захарченко Владимир Дмитриевич
Корячкина Светлана Яковлевна
Крупенин Виталий Львович
Литвинова Елена Викторовна
Нестеров Валерий Леонидович
Пен Роберт Зусьевич
Петров Михаил Николаевич
Попов Федор Алексеевич
Пындак Виктор Иванович
Салихов Мухаммет Габдулхаевич
Важенин Александр Николаевич
Арютон Борис Александрович
Гоц Александр Николаевич
Капитонова Тамара Афанасьевна

Обнинск
Санкт-Петербург
Великий Новгород
Красноярск
Череповец
Волгоград
Орел
Москва
Орел
Екатеринбург
Красноярск
Красноярск
Бийск
Волгоград
Йошкар-Ола
Нижний Новгород
Нижний Новгород
Владимир
Якутск

Учредитель – Академия Естествознания
123557, Москва,
ул. Пресненский вал, 28
Свидетельство о регистрации ПИ № 77-15597
ISSN 1812–7320

АДРЕС РЕДАКЦИИ
440026, г. Пенза,
ул. Лермонтова, 3
Тел. редакции (8452) 53–41–16
Факс (8452) 47–76–77
E-mail: edition@rae.ru

Подписано в печать 06.05.2013

Формат 60x90 1/8
Типография
ИД «Академия Естествознания»
440000, г. Пенза,
ул. Лермонтова, 3

Технический редактор
Нестерова С.Г.

Усл. печ. л. 18,0
Тираж 1000 экз. Заказ СНТ 2013/5
Подписной индекс 70062

© ИД «Академия Естествознания»

СОДЕРЖАНИЕ

Технические науки

АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ В МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ	
<i>Астафьев А.В.</i>	7
«АЭРОДЖИП» ДЛЯ СПАСАТЕЛЬНЫХ РАБОТ	
<i>Воронков Ю.С., Воронков О.Ю.</i>	11
ПОИСК ЭФФЕКТИВНЫХ МОДИФИКАТОРОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ NI-P ПОКРЫТИЙ С АНТИФРИКЦИОННЫМИ СВОЙСТВАМИ	
<i>Дерлугян П.Д., Иванов В.В., Иванова И.В., Логинов В.Т., Шишка В.Г., Щербаков И.Н.</i>	21
ВЕРОЯТНЫЕ ИЗОСИММЕТРИЙНЫЕ И ДЕФОРМАЦИОННЫЕ МОДИФИКАЦИИ ФУЛЛЕРЕНОВ С ОБОЛОЧКАМИ ОКТАЭДРИЧЕСКОЙ ВЕТВИ КЛАССИФИКАЦИИ В АНТИФРИКЦИОННЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЯХ	
<i>Дерлугян П.Д., Иванов В.В., Иванова И.В., Логинов В.Т., Данюшина Г.А.</i>	25
ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВОЗМОЖНЫХ ГИБРИДНЫХ МОНОМОДУЛЯРНЫХ ФРАКТАЛЬНЫХ СТРУКТУР	
<i>Иванов В.В.</i>	29
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНИМОСТИ СИНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОДХОДА К АНАЛИЗУ СТРУКТУРЫ ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ТИПА	
<i>Игонин В.И.</i>	32
МОДЕЛЬНАЯ СТРУКТУРИЗАЦИЯ И СИНЕРГЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЭНЕРГОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ	
<i>Игонин В.И.</i>	39
ОЦЕНКА ОБОБЩЕННОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ НЕСКОЛЬКИХ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ	
<i>Игонин В.И., Белянский Д.А.</i>	46
ВЛИЯНИЕ ВЫСОКОДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ МЕДИ НА ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИЕ СВОЙСТВА РЕЗИН НА ОСНОВЕ ЭТИЛЕНПРОПИЛЕНОВОГО КАУЧУКА	
<i>Каблов В.Ф., Петрюк И.П., Калеев В.О.</i>	55
ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИХ ДВИГАТЕЛЕЙ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ	
<i>Казьмин Б.Н., Трифанов И.В., Рыжов Д.Р.</i>	58
ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ПРОЦЕССА САМООБУЧЕНИЯ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ МЕТОДОМ ХЕББА ОТ ВЕЛИЧИНЫ КОЭФФИЦИЕНТА СКОРОСТИ ОБУЧЕНИЯ	
<i>Капля В.И., Чернуха В.В.</i>	62
ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ МАШИН В РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ РАБОТЫ ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ	
<i>Кравченко И.Н., Мясников А.В., Шайбаков Р.Р., Гладков В.Ю.</i>	65
МЕТОДИКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ НАВЕСНОГО СМЕННОГО ГРУНТОУПЛОТНЯЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ В СТЕСНЕННЫХ УСЛОВИЯХ	
<i>Кравченко И.Н., Салеев С.И., Марковчин С.Г., Салеев Н.И.</i>	70
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАСЧЕТА ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ КАТАЛИТИЧЕСКИХ НЕЙТРАЛИЗАТОРОВ	
<i>Лешаков И.А., Кравченко И.Н., Ерофеев М.Н.</i>	76
КОРРОЗИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ В УСЛОВИЯХ МОРСКИХ НЕФТЕГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА УСТАЛОСТНОЕ ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЕ	
<i>Староконь И.В., Фролова Н.В., Романенко О.А., Болбот Н.В.</i>	81
ДЕКОМПОЗИЦИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ЗАДАЧ УПРАВЛЕНИЯ	
<i>Умбетов У.У., Ху Вен-Цен, Иманова У.Ж.</i>	85
ПОСТРОЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО СХТК С ГИБКОЙ ПЕРЕСТРАИВАЕМОЙ СТРУКТУРОЙ	
<i>Шукаев Д.Н., Умбетов У.У., Бексейтова А.Б.</i>	90

Физико-математические науки

- ИЗМЕРЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ АЛЮМЕЛИ В ТВЕРДОМ СОСТОЯНИИ
Кумыков В.К., Сергеев И.Н., Созаев В.А., Гедгагова М.В. 93

Географические науки

- ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ
 В ПОДГОТОВКЕ СТУДЕНТОВ ПО СПЕЦИАЛЬНОСТИ «ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ»
Телегина М.В., Янников И.М. 96

Геолого-минералогические науки

- ПЕТРОЛОГИЯ АНОРОГЕННЫХ ГРАНИТОИДОВ БЕЛОУБИНСКО-КОКСИНСКОГО МЕЖДУРЕЧЬЯ
 (ПРИГРАНИЧНЫЕ ОБЛАСТИ РЕСПУБЛИК АЛТАЙ И КАЗАХСТАН)
Гусев А.И. 99
- ГИПЕРСОЛЬВУСНЫЕ И ТРАНССОЛЬВУСНЫЕ АНОРОГЕННЫЕ ГРАНИТОИДЫ СОЛОНЕШЕНСКОГО
 РУДНОГО РАЙОНА ГОРНОГО АЛТАЯ
Гусев А.И., Гусев Н.И. 105
- ЗОЛОТО-МЕДНО-СКАРНОВОЕ ОРУДЕНЕНИЕ УЛЬМЕНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ
 ГОРНОГО АЛТАЯ
Гусев А.И. 111
- КРИСТАЛЛОХИМИЧЕСКОЕ ПРЕВРАЩЕНИЕ ПИРРОТИН-ПИРИТ,
 ИНДУЦИРОВАННОЕ КАТИОННЫМИ ВАКАНСИЯМИ
Онуфриенко В.В. 116

Химические науки

- КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ И РАСТВОРЕНИЕ ПОЛИМЕРОВ В ВЯЗКОЙ СРЕДЕ
Асаубеков М.А. 123
- ОСОБЕННОСТИ КИНЕТИКИ СОРБЦИИ И МЕХАНИЗМА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ИОНОВ МАРГАНЦА
 МИКРОКАЛОРИМЕТРИЧЕСКИМ ИССЛЕДОВАНИЕМ
 В ФАЗЕ ФОСФОРНОКИСЛОГО КАТИОНИТА КФП-12
Пимнева Л.А. 127

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

Технические науки

- СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВА ХП-470 С ЦЕЛЬЮ УЛУЧШЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ
 КАЧЕСТВА ЦЕЛЕВОГО ПРОДУКТА
Бобнева И.С., Анищенко О.В. 133
- СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СТАДИИ ВЫДЕЛЕНИЯ ХЛОРОФОРМА
Рыбалка О.К., Анищенко О.В. 133

- ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ 139
- ИНФОРМАЦИЯ ОБ АКАДЕМИИ 143

CONTENTS

Technical sciences

CHARACTERISTICS OF THE PERIOD DOSE TITRATION WARFARIN IN PATIENTS WITH ATRIAL FIBRILLATION. RELATIONSHIP WITH CLINICAL FACTORS <i>Astafiev A.V.</i>	7
«AERODZHIP» FOR THE RESCUE SERVICES <i>Voronkov Y.S., Voronkov O.Y.</i>	11
THE CHOICE OF THE EFFECTIVE MODIFICATORS FOR RECEIPT OF COMPOSITIONAL NI-P COATINGS WITH ANTI-FRICTIONAL PROPERTIES <i>Derlugyan P.D., Ivanov V.V., Ivanova I.V., Loginov V.T., Shishka V.G., Shcherbakov I.N.</i>	21
PROBABLY ISOSYMMETRIC AND DEFORMATIONAL MODIFICATIONS OF FULLERENE'S WITH COVERS BY OCTAHEDRAL BRANCH CLASSIFICATION INTO ANTIFRICTION COMPOSITIONAL COATINGS <i>Derlugyan P.D., Ivanov V.V., Ivanova I.V., Loginov V.T., Danyushina G.A.</i>	25
GENERAL CHARACTERISTICS OF THE POSSIBLE GYBRIDIC MONOMODULAR FRACTAL STRUCTURES <i>Ivanov V.V.</i>	29
THE STUDY OF THE APPLICABILITY OF THE SYNERGETIC APPROACH TO THE ANALYSIS OF THE STRUCTURE OF THE ENERGY OF TECHNOLOGICAL TYPE <i>Igonin V.I.</i>	32
MODEL STRUCTURING AND SYNERGETIC ANALYSIS ENERGO TECHNICAL SYSTEM <i>Igonin V.I.</i>	39
ASSESSMENT OF THE GENERALIZED ENERGY STATE OF SEVERAL OF HEAT ENGINEERING SYSTEMS <i>Igonin V.I., Belanckij D.A.</i>	46
INFLUENCE OF HIGH-DISPERSE PARTICLES OF COPPER ON ELECTROCARRYING-OUT PROPERTIES OF RUBBERS ON THE BASIS OF ETHYLENE-PROPYLENE RUBBER <i>Kablov V.F., Petryuk I.P., Kaleev V.O.</i>	55
ELECTROPHYSICAL PROCESSES ELECTRODYNAMIC ENGINES OF VEHICLES <i>Kazmin B.N., Trifanov I.V., Ryzhov D.R.</i>	58
NUMERICAL INVESTIGATION OF DEPENDENCE OF SELF-TRAINING PROCESS BY THE HEBBIAN METHOD FOR NEURAL NETWORKS FROM MAGNITUDE OF A LEARNING SPEED FACTOR <i>Kaplya V.I., Chernukha V.V.</i>	62
EFFECTIVE USE OF SPECIALIZED MACHINES FOR DIFFERENT ENVIRONMENTS AND ROAD COMPANIES <i>Kravchenko I.N., Miasnikov A.V., Shaibakov R.R., Gladkov V.Y.</i>	65
THE METHOD IS EFFECTIVE ATTACHMENT OF REMOVABLE EQUIPMENT SOIL COMPACTION IN CONFINED AREAS <i>Kravchenko I.N., Salyaev S.I., Markovchin S.G., Salyaev N.I.</i>	70
A MATHEMATICAL MODEL TO CALCULATE THE MAIN PARAMETERS OF CATALYTIC CONVERTERS <i>Leshakov I.A., Kravchenko I.N., Erofeev M.N.</i>	76
CORROSION PROCESSES IN THE CONDITIONS OF SEA OIL AND GAS FIELDS AND THEIR INFLUENCE ON FATIGUE PROGRESS <i>Starokon I.V., Frolova N.V., Romanenko O.A., Bolbot N.V.</i>	81
DECOMPOSITION DYNAMIC MANAGEMENT PROBLEMS <i>Umbetov W.W., Hu Wen-Price, Imanova U.J.</i>	85
CONSTRUCTION OF OPTIMAL CCPF WITH A FLEXIBLY CHANGED STRUCTURE <i>Shukaev D.N., Umbetov U.U., Bekseytova A.B.</i>	90

Physical and mathematical sciences

THE MEASUREMENT OF THE SURFACE TENSION OF ALUMEL IN THE SOLID STATE

Kumykov V.K., Sergeev I.N., Sozaev V.A., Gedgagova M.V.

93

Geographical sciences

GEOINFORMATION SYSTEMS AND ECOLOGICAL MAPPING IN PREPARATION OF STUDENTS ON THE SPECIALITY « SAFETY IN A TECHNOSPHERE»

Telegina M.V., Yannikov I.M.

96

Geological-mineralogical sciences

PETROLOGY OF ANOROGENIC GRANITOIDS OF BELOUBINSKO-KOKSINSKOE INTERRIVERS (NEAR BORDER REGIONS OF REPUBLIC ALTAI AND KAZAKHSTAN)

Gusev A.I.

99

GYPERVOLVUS AND TRANSVOLVUS ANOROGENIC GRANITOIDS OF SOLOYESHCHENSKII ORE DISTRICT OF MOUNTAIN ALTAI

Gusev A.I. , Gusev N.I.

105

GOLD-COPPER-SKARN ORE MINERALIZATION OF ULMENSKOE DEPOSIT OF MOUNTAIN ALTAI

Gusev A.I.

111

CRYSTAL-CHEMICAL TRANSFORMATION OF PYRRHOTITE-PYRITE INDUCED BY CATIONIC VACANCIES

Onufrienok V.V.

116

Chemical sciences

THE CRYSTALLIZATION AND SOLVING POLYMERS IN VISCOUS MEDIA

Asaubekov M.A.

123

FEATURES OF KINETICS OF SORPTION AND THE MECHANISM OF INTERACTION OF IONS OF MANGANESE MICROCALORIMETRIC RESEARCH IN THE PHASE FOSFORNOKISLOGO KATIONITA KFP-12

Pimneva L.A.

127

УДК 338.3: 656.02

АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ В МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ

Астафьев А.В.

ГОУ ВПО «Московский государственный университет путей сообщения»,
Москва, e-mail: sir.astafiew2012@yandex.ru

В статье дается аналитический обзор применения информационных моделей в материально-техническом обеспечении. Выделены основные цели и основные функции материально-технического обеспечения. Показано, что материально-техническое обеспечение может быть рассмотрено как сложная система. Показано, что в современном материально-техническом обеспечении применяется не информация, а информационные модели. Показано значение логистических методов для материально-технического обеспечения. Показано, что информация, применяемая в материально-техническом обеспечении, должна обладать свойством ресурсности и быть ресурсом, а не описанием.

Ключевые слова: управление, логистика, материально-техническое обеспечение (МТО), информационные модели, информационное управление

CHARACTERISTICS OF THE PERIOD DOSE TITRATION WARFARIN IN PATIENTS WITH ATRIAL FIBRILLATION. RELATIONSHIP WITH CLINICAL FACTORS

Astafiev A.V.

Moscow State University of Railway Transport, Moscow, e-mail: sir.astafiew2012@yandex.ru

The article presents an analytical review of the use of information models in the material technical support. The article highlights the main objectives and the basic functions of logistics. The paper shows that the material logistics can be considered as a complex system. It is shown that in the modern material and technical provision of the information is not used, and the information model. The paper shows the importance of logistics techniques for material and technical support. It is proved that the information used in logistics, must have the property of the resource and to be a resource, not a description.

Keywords: management, logistics, material and technical support (MTO), information models, information management

Экономическое содержание процесса материально-технического обеспечения тесно связано с информационным обеспечением. Поэтому для реализации целей МТО широко применяют методы информатизации [2]. Это способствует инновационному развитию и с учетом системного подхода применению инноваций как сложных систем [3]. Поэтому вопросы информационного моделирования и применения информационных моделей в МТО актуальны и требуют изучения.

С позиций системного подхода материально-техническое обеспечение (МТО) может быть рассмотрено как сложная система [1]. Это система планирования и организации закупок, поставок, распределения, хранения, учета и контроля материально-технических ресурсов. Как всякая система МТО имеет цели и функции. Основная цель системы материально-технического обеспечения в сфере железнодорожного транспорта заключается в обеспечении материальными ресурсами устойчивой работы железных дорог. Вспомогательные цели МТО состоят: в минимизации расходов на закупку, доставку и хранение материальных ресурсов; в обеспечении устойчивости работы МТО как системы; в управлении МТО.

Цели МТО определяют его основные функции [4]: планирования потребностей в материально-технических ресурсах (МТР) на ос-

нове норм их расхода на единицу продукции; учета объемов работ по видам деятельности; расчета норм расхода и норм производственных запасов МТР; размещения заказов на изготовление МТР на предприятиях; установления устойчивых коммуникаций с предприятиями поставщиками МТР; экономического обоснования выбора формы снабжения.

Вспомогательная цель МТО состоит также в информировании потребителей ресурсов и поставщиков о ситуации с наличием и доставкой ресурсов. Последняя цель приводит к необходимости управления информационными потоками. В общем совокупность целей и функций МТО приводит к необходимости применять информационные потоки, информационные модели и информационное моделирование для обеспечения оптимальной и устойчивой работы МТО в единых рамках функционального управления [5].

Кроме того, отличием методов управления в МТО РЖД является то, что в нем широко используется управление не только потоками и стационарными объектами, но и подвижными объектами [6].

В работе [7] отмечено, что более чем 70 период наблюдения все системы МТО РЖД, действующие строго в централизованном, несмотря на неоднократно проводимые преобразования, имеют схожие и существенные проблемы из-за сложных и много-

звенных структур управления, в том числе и функционирующая на железнодорожном транспорте самостоятельная ведомственная система централизованного снабжения:

- структуры с большим числом подразделений и предприятий, выполняющих снабженческо-сбытовые функции, инертные. Медленно реагируют на текущие нужды подчиненных хозяйствующих субъектов;

- планирование потребности отличается излишней сложностью из-за чрезмерной централизации;

- предприятия, занятые в сфере обеспечения, дублируют работу друг друга;

- длительности принятия решений, зависимость линейных предприятий от многочисленных вышестоящих органов управления, постоянное обоснование планов и, как следствие, неритмичность поставок

Одна из причин отсутствия системного подхода и недостаточное использование методов информационного управления. При современном управлении МТО используется не информация как таковая, а информационные модели [8, 9], коррелятивные модели [10] и информационные единицы сообщений [11]. Следовательно, при работе с информационными системами и информационными потоками в МТО необходимо говорить об информационных моделях и информационном моделировании. Особо следует остановиться на коррелятивных методах, поскольку они позволяют выявлять латентные факторы.

Информация при ее использовании в МТО предстает в виде различных моделей [12]. Второе свойство информации при ее использовании в МТО в том, что она выступает как информационный ресурс повышения качества и эффективности работы МТО. Рассматривая информацию как некий ресурс производства, надо также говорить о информационных моделях. Информационные модели имеют характеристики качества [13], подобно другим видам продукции. Основными характеристиками качества информационных моделей, наряду с общепринятыми для других видов продукции, являются: репрезентативность, содержательность, прагматизм, достаточность, точность, актуальность.

Таким образом, как производственный ресурс информация должна иметь *новое качество*. Она должна быть специальным образом *организована и преобразована* из первоначальной описательной формы в информационные модели. На этом основании информационные ресурсы должны рассматриваться как сложные совокупности, включающие простые описания и информационные модели различного вида [14].

В процессе эволюции общества для решения разных задач, в том числе и МТО, применялись: наборы данных, информационно – описательные модели, модели базы данных, интеллектуальные модели, интегрированная информационная основа. Из этой совокупности можно выделить *три класса* информационных моделей: информационно-описательные, информационно-ресурсные, интеллектуальные [14, 15]. Все три класса отличаются наличием различного качества.

Информационная модель – целенаправленное формализованное отображение существующего объекта или системы с помощью системы взаимосвязанных, идентифицируемых, информативно определяемых параметров. Информационная модель обеспечивает формализованное представление используемых данных и их взаимосвязей. Поэтому *особенностью* информационных моделей является то, что одна из их основных функций – описательная.

Наличие разных способов описания и возможное различие в построении определяет *вторую особенность* информационных моделей – на один и тот же объект могут быть сформированы несколько разных информационных моделей, дополняющих друг друга.

Информационно-описательный класс включает модели, которые построены как описание некоего процесса, явления, объекта, сущности и т.д. Модели этого класса выполняют функции информационного сообщения. Эти модели могут быть простыми, составными и пр. Основные функции этих моделей: описание объекта моделирования и хранение информации. Применимость таких моделей определяется сроком пригодности информации, которую они содержат. Эти модели обладают свойством накопления и актуализации, т.е. замены устаревшей информации на новую. Примером таких моделей служат: файл, текстовый документ, речевое сообщение, рисунок и пр.

Информационно-ресурсный класс включает модели, обладающие свойством информационно-описательного класса и обладающие дополнительным свойством накопления и совершенствования. Это свойство называют ресурсностью [14]. Ресурсность модели заключается в возможности на основе накопления информации (опыта) использовать накопленную информацию для качественного изменения возможностей модели, в частности для увеличения ее жизненного цикла.

Информация и информационные модели имеют свои характеристики качества. Ресурсность модели означает возможность повышения качества модели и расширяет возможность применения модели. приме-

нимость моделей данного класса выше, чем моделей первого класса. Ресурсность как свойство – пример синергетического эффекта. Она проявляется, когда разрозненные наборы данных систематизируются и организируются в специальную систему данных. Примером информационно-ресурсных моделей могут быть модели базы данных, человеческая память. Ресурсность модели означает возможность повышения *качества* информации и расширяет возможность применения модели. Именно такие модели могут служить основой инновации [2].

Интеллектуальные модели – это класс моделей, обладающих способностью к накоплению информации, совершенствованию и самосовершенствованию и осуществлению активных действий независимо от субъекта или объекта, создавшего эти модели [15]. Период использования моделей этого класса превосходит периоды использования моделей первых двух классов. Примером этих моделей могут быть базы знаний, некоторые типы компьютерных вирусов, модели реакции человека на воздействие внешней среды. Все три класса моделей относят к информационным ресурсам.

Таким образом, повышение качества информации возможно за счет организации ее как ресурса – преобразования *исходных данных* или описательных сведений в *систему информационных моделей*.

Информационно-ресурсная модель имеет дополнительные свойства, которые обеспечивают возможность ее совершенствования и более длинный жизненный цикл. Информационно-описательная модель представляет собой описания наборов данных. Накопление информации в этой модели ведет к суммированию данных либо к замене одних данных другими. В этой модели данные хранятся в виде независимых наборов. Однако эту независимость можно снять.

Над данными, входящими в описательную информационную модель возможно выполнение ряда действий:

- Анализ и выделение связей внутри и между наборами данных.
- Классификация всех данных.
- Определение отношений между данными.

Последнее свойство очень важно для МТО, поскольку снабжение осуществляется в реальном пространстве и необходимо учитывать реальные пространственные отношения [15, 17], которые существуют в процессе перевозки и доставки. Совокупность действий позволяет преобразовать описания наборов данных в систему связанных данных. Эта система определяет информационно-ресурсную модель.

Система связанных данных имеет некий механизм, образованный отношениями и классификацией данных. Этот механизм позволяет строить новые конструкции данных на основе имеющихся. Кроме того, по мере поступления новой информации в систему данных, механизм этой системы позволяет оптимизировать эту систему, если в ней заранее определены параметры оптимизации. В этом и заключается еще одно свойство ресурсности модели, – *возможность получения новых данных* на основе внутреннего механизма, заложенного в ней.

Третий класс моделей в отличие от первых двух является активным [15]. Он является совершенствованием класса информационно-ресурсных моделей и дополняется по отношению к нему механизмом накопления знаний, позволяющим осуществлять активные действия без соответствующих запросов к этим моделям.

В неавтоматизированных технологиях наиболее широкое распространение получил первый класс информационных моделей. В информационных технологиях наибольшее значение получил информационно-ресурсный класс моделей. Применительно к управлению МТО ресурсность решает две важные задачи. Создавая новое качество, она создает условия для инноваций, как носителей нового качества. Создавая возможность повышения качества, она дает возможность увеличения жизненного цикла систем МТО.

Особое место в МТО занимают пространственные модели данных [16]. Они представляют собой интегрированную совокупность данных, в которых пространственная информация выполняет две основные функции.

Первая функция связующая – она заключается в том, что пространственная информация служит основой связи и интеграции других видов информации как наиболее постоянная в сравнении с другими видами.

Вторая ее функция измерительная заключается в том, что она используется для различных расчетов, в том числе для получения экономических оценок.

Эта информация различного территориального охвата и содержания имеет широкий круг потребителей из различных сфер производственной и административной деятельности. Она играет важную роль в задачах экономического, политического и экологического развития на федеральном и региональном уровнях. Любая современная система МТО, действующая на большой территории нуждается в комплексных данных, содержащих пространственную информацию.

Свойство ресурсности определяет в современном мире пространственные модели

в качестве национального информационного ресурса многоцелевого использования [18]. Они признаны одним из универсальных интегрированных информационно-технологических средств, способствующих эффективному решению территориальных проблем управления и планирования. Модели, применяемые в информационных системах, необходимо рассматривать с учетом трех аспектов [2]: пространственного, временного и тематического.

Пространственный аспект связан с определением местоположения исследуемого объекта или с привязкой информации к конкретным территориям.

Временной аспект обусловлен изменениями свойств объекта за конечный период времени. Примером временных данных служат результаты переписи населения.

Тематический аспект обусловлен включением в набор данных тематической информации, связанной с конкретными решаемыми задачами.

Эти три аспекта определили три группы основных характеристик пространственных данных и моделей «место», «время», «тема». Важным свойством пространственных данных является интеграция трех отмеченных групп в единую систему. Эта интеграция создает синергетический эффект, т.е. позволяет решать задачи, которые при разделении на отмеченные группы не решаются или решаются с меньшей эффективностью. Такая интеграция служит основой их применения в МТО для комплексного анализа информации.

Таким образом, исходная пространственная информация включает информационно-описательные модели и не обладает свойством ресурсности. Первичная обработка преобразует эти исходные модели в новый вид, обладающий свойством ресурсности.

Все три класса информационных моделей относятся к информационным ресурсам, но они имеют качественное различие. Поэтому, говоря об информационных ресурсах, необходимо уточнять какой класс информационных моделей применяется.

Особенностью применения информационных моделей в МТО является их широкое использование для ситуационного управления и ситуационного моделирования [19]. Несмотря на планирование перевозок в практике, особенно при перевозках автотранспортом, возникают непредвиденные ситуации, когда принимать решение надо исходя из конкретной ситуации. В этом случае необходимо осуществлять мониторинг логистических процессов [20] как средство дополнительного контроля и ресурс управления.

Выводы. В современных условиях для совершенствования применяемой на предприятиях железнодорожного транспорта систе-

мы планирования материально-технического обеспечения, не имеющей гибкого адаптационного механизма, необходимо использовать информационные модели планирования материально-технических ресурсов, которые взаимодействуют в определенно заданной последовательности для реализации планов.

Трансформация плановых данных в систему информационных показателей, наиболее точно соответствующих экономическим реалиям, позволяет повысить эффективность и оперативность МТО.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Логистика и управление розничными продажами = Logistics and retail management / Под ред. Дж. Ферна и Ли Спаркса. – Новосибирск: Сибирское университетское изд-во, 2007. – С. 263.
2. Цветков В.Я. Информатизация, инновационные процессы и геоинформационные технологии // Геодезия и аэрофотосъемка – 2006. – № 4. – С. 112-118.
3. Цветков В.Я., Омельченко А.С. Инновация и инновационный процесс как сложная система // Качество, инновации, образование. – 2006. – № 2. – С. 11-14.
4. Alan C. McKinnon, Kenneth John Button, Peter Nijkamp Transport logistics – E. Elgar, 2002 – 680 pp.
5. Булгаков С.В., Корнаков А.Н., Пушкарева К.А. и др. Функциональная модель информационного управления // Вестник Московского областного педагогического университета. Серия Экономика – 2010. – № 2. – С. 57-61.
6. Tsvetkov V.Ya. Information Management of Mobile Object // European Journal of Economic Studies, 2012. – Vol.(1), № 1. – P. 40-44.
7. Бондаренко К. Совершенствование управления материально-техническим обеспечением предприятий железнодорожного транспорта / Автореферат дис. к. эк. н. 08.00.05 Ростов-на-Дону, РГУПС – 2010 – 24 с.
8. Tsvetkov V.Ya. Logic units of information systems // European Journal of Natural History. – 2009 – № 2. – p 99-100.
9. Маркелов В.М. Создание картографических логистических моделей логистике // Международный научно-технический и производственный журнал «Науки о Земле». – Вып. 03-2012. – С. 54-58.
10. Tsvetkov V.Ya. Framework of Correlative Analysis // European Researcher, 2012, Vol.(23). – № 6-1. – P. 839-844
11. Цветков В.Я. Информационные единицы сообщений // Фундаментальные исследования. – 2007. – № 12. – С. 123-124.
12. Тюрюмин М.В. Проблемы материально-технического обеспечения на железнодорожном транспорте // Известия Иркутской государственной экономической академии. – 2007. – № 5. – С. 71-72.
13. Цветков В.Я. Качество экономической информации // Успехи современного естествознания. – 2008. – № 7. – С. 84-85.
14. Цветков В.Я. Информационные модели и информационные ресурсы // Геодезия и аэрофотосъемка. – 2005. – № 3. – С. 85-91.
15. Савиных В.П., Цветков В.Я. Развитие методов искусственного интеллекта в геоинформатике // Транспорт Российской Федерации. – 2010. – № 5. – С. 41-43.
16. Markelov V. Application Geodata in Logistics // European Researcher, 2012. – Vol.(33), № 11-1. – pp1835-1837.
17. Цветков В.Я. Геоинформация как инструмент анализа и получения знаний // Международный научно-технический и производственный журнал «Науки о Земле». 2011. – № 2. – С. 63-65.
18. Васютинский И.Ю., Пусенков В.Б., Фесенко И.А. и др. Сетевое управление промышленным предприятием // Геодезия и аэрофотосъемка, – 2012. – № 1. – С. 106-109.
19. Маркелов В.М. Геоинформационное ситуационное моделирование // Международный научно-технический и производственный журнал «НАУКИ О ЗЕМЛЕ». – № 4. – 2012. – С. 72-76.
20. Markelov V. Application of Geoinformation Monitoring in Logistics // European Researcher, 2012. – Vol.(31). – № 10-1. – P. 1632-1634.

УДК 629.7.02

«АЭРОДЖИП» ДЛЯ СПАСАТЕЛЬНЫХ РАБОТ

Воронков Ю.С., Воронков О.Ю.

Координационный совет ОНТТЭ «Ювенал», Таганрог, e-mail: yuven@mail.ru

Периодически в зарубежных авиационных кругах отмечается определённый интерес к новому виду летательных аппаратов типа «летающая платформа». Под этим названием обычно понимают аппараты вертикального взлёта и посадки, использующие для создания вертикальной и горизонтальной тяги работу воздушных винтов малого диаметра в канале или кольце.

Ключевые слова: «летающая платформа», синергетическая теория управления, силы, моменты, математическая модель летательного аппарата, динамика полета

«AERODZHIP» FOR THE RESCUE SERVICES

Voronkov Y.S., Voronkov O.Y.

Coordinating Council ONTTE «Juvenal», Taganrog, e-mail: yuven@mail.ru

Periodically, the foreign aviation circles has been some interest in a new type of aircraft such as «flying platform». Under this name usually refers to units of vertical takeoff and landing, is used to create vertical and horizontal thrust work propellers of small diameter in the channel, or ring.

Keywords: «Flying Platform», the synergetic theory, forces, moments, a mathematical model of the aircraft, flight dynamics

Интерес к «летающим платформам» нельзя назвать случайным. Они с не меньшим успехом, чем вертолёты, могут выполнять задачи связи, разведки, целеуказания, спасательных работ, перевозки людей, грузов и т.п., обладая при этом рядом существенных преимуществ:

- Относительная простота конструкции и дешевизна производства;
- Малые габариты и защищённые винты, вследствие чего очень мала вероятность их повреждения при взлёте-посадке на ограниченные площадки, полётах над застроенными территориями на малых высотах, а также между верхушками деревьев;
- Удобство в обслуживании и транспортировке (удобство загрузки и выгрузки) и, что особенно важно, возможность десантирования аппаратов с борта военно-транспортного самолёта и вертолёта;
- Значительно больший, чем у вертолёта, ресурс агрегатов.

В современных условиях к задачам военного применения «летающих платформ» добавляются новые, в том числе такие, как: ликвидация последствий аварий на взрыво- и пожароопасных объектах, газо- и нефтепроводах, химически опасных объектах, зонах разрушения плотин гидроузлов, а также задачи ликвидации последствий землетрясений, цунами, наводнений, лесных пожаров, ураганов, тайфунов и т.п.

Экскурс в историю создания

Исследования в области «летающих платформ» проводились особенно усиленно в США, где четыре фирмы – «Хиллер», «Пясецкий», «Крайслер» и «Аэрофизик» занимались разработкой и постройкой лёгких «лета-

ющих платформ» специального назначения (полётным весом не более 900 ... 1000 кг), получивших название «летающие джипы».

Как указывали фирмы, по стоимости изготовления, простоте управления и эксплуатации «летающие платформы» вполне могут конкурировать с обыкновенными автомобилями, а по тактическим возможностям значительно превосходят их. При этом нужно иметь в виду, что вследствие большой энерговооружённости и, следовательно, повышенного расхода топлива экономичными эти аппараты могут оказаться только при полёте на малые расстояния.

В 1958–1961 гг. в Московском Авиационном Институте (МАИ) проводилась НИР по изучению «летающих платформ». Были разработаны экспериментальные летающие стенды, сами аппараты, силовые установки, системы управления. Некоторые проекты аппаратов были детально проработаны, изготовлены демонстрационные и продувочные модели для аэродинамических исследований. К концу 60-х годов интерес к аппаратам подобного типа постепенно угас.

Возрождение идеи

Однако в 2003 году стало известно о работах фирмы США «Ди-Стар Инжиниринг», специализирующейся на разработках вентиляторных двигателей и силовых установок для БЛА. Фирма проводит активные исследования в области подъёмных вентиляторов, считая, что внедрение перспективных технологий позволит создать силовые установки для использования на различных вертикально взлетающих летательных аппаратах, включая «летающие автомобили».

Руководитель фирмы сообщил о создании газогенератора D-STEС (D-star Turbine Engine Core), с помощью которого появляется возможность разработки подъёмного вентилятора с отношением взлётной тяги к массе 50:1. Кроме разработки вентиляторных установок, фирма разработала несколько вариантов вертикально взлетающих аппаратов («летающих автомобилей») «Д-Скутер» с подъёмно-маршевыми вентиляторами в кольцевых каналах, которые могут использоваться силами специального назначения. Один из таких аппаратов имеет длину 4,2 м и силовую установку, состоящую из трёх вентиляторных двигателей типа D-STEС (один подъёмный в передней части и два подъёмно-маршевых – в хвостовой). Такой аппарат предлагается в качестве санитарного, он рассчитан на перевозку трёх раненых или грузов массой до 270 кг. Аппарат «Д-Скутер» может транспортироваться на самолёте Локхид С-130 (в каждом самолёте размещается три аппарата) и сбрасываться в полёте. (По материалам издания Jane's Defence Weekly, 16/VII 2003, № 2, V. 40, P.10.)

Один из вариантов в России

Разработанная в научно-техническом обществе «Ювенал» города Таганрога схема подобного аппарата содержит: аэродинамическое крыло малого удлинения, внутри которого размещена неподвижно пара подъёмно-маршевых вентиляторов в кольцевых каналах, а на его верхней панели – кабина экипажа и П-образное оперение, за которым установлена вторая пара управляемых поворотных подъёмно-маршевых вентиляторов в кольцах. Все четыре подъёмно-маршевых вентилятора приводятся во вращение электроприводами, обеспечиваемыми электроэнергией от двух газотурбогенераторов.

Продольное управление аппаратом осуществляется путём дифференциального изменения тяги пары передних и пары задних вентиляторов, поперечное – путём дифференциального изменения силы тяги боковых вентиляторов, расположенных справа и слева, а путевое – дифференциальным изменением силы и направления тяги задних

вентиляторов одновременно с отклонением рулей направления.

Система управления аппаратом позволяет управлять им как командными органами управления пилотом с рабочего места экипажа на простых траекториях полёта, так и в автоматическом режиме полёта сигналами бортовой системы автоматического управления во всех остальных конфигурациях полёта, в том числе в процессе взлёта, набора высоты, при заходе на посадку и при выполнении самой посадки.

При этом управление аппаратом обеспечивается путём реализации алгоритмов универсальных базовых синергетических законов взаимосвязного управления его пространственным движением с учётом компоновочной схемы данного аппарата.

Синергетические законы изменения режимов работы силовых установок обеспечивают в присутствии внешних возмущающих факторов координирующее управление векторами тяг с учётом естественных свойств летательного аппарата как нелинейного объекта механической природы.

При таком подходе к построению системы управления в регуляторе формируется вектор управляющих воздействий с учётом всех переменных состояния системы, т. е. разбиения на отдельные контуры управления и построения изолированных следящих систем для каждого канала не производится. Это позволяет учесть динамические свойства математической модели летательного аппарата при аналитическом конструировании законов управления, что обеспечивает наибольшую адекватность системы управления физическому объекту (легкому летательному аппарату вертикального взлёта и посадки).

В бортовой системе автоматического управления аппаратом такого типа, кроме реализации синергетических алгоритмов управления пространственным движением, решается, в том числе задача оптимального распределения энергии между бортовыми источниками питания и силовыми установками.

Фото летающей модели такого аппарата с условным названием «Аэроджип-02» и его примерные расчетно-массовые характеристики приведены ниже.

Примерные расчетно-массовые характеристики аппарата «Аэроджип»

Взлётная масса аппарата	1200 кг
Масса экипажа 1 чел.	100 кг
Масса пассажиров 3 чел.	280 кг
Масса конструкции	370 кг
Масса силовой установки на основе двух турбогенераторов	200 кг
Масса топлива	170 кг
Масса оборудования и управления	80 кг

«Аэроджип-02»



Рис. 1. Летящая модель «Аэроджип-02»

Система управления «Аэроджипом»

Система управления микропроцессорная на основе синергетических регуляторов. Пространственное положение аппарата задается и обеспечивается посредством

дифференциального изменения тяги подьёмно-маршевых силовых агрегатов в соответствии с законами управления, обеспечивающими соизмеримость генерируемой и потребляемой мощностей.

Крейсерская скорость
Высота полёта
Дальность полёта

130 км/ч
> 500 м
200 км

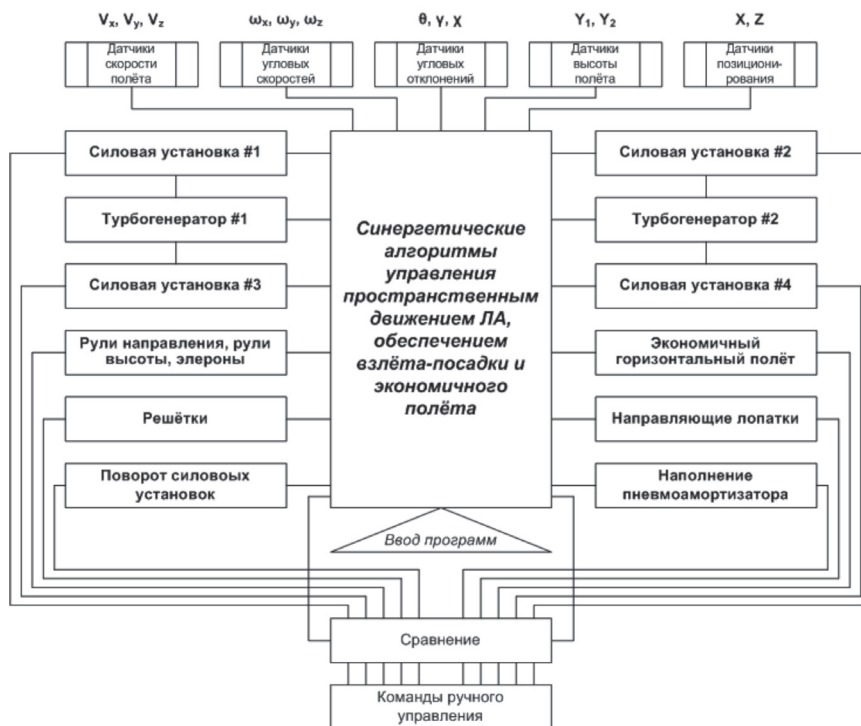


Рис. 2. Блок-схема системы управления «Аэроджипом».
(См. патент РФ №2348568 от 29.06.2007, МПК8 В64С 15/00, В64С 15/12, авторы Воронков Ю.С., Воронков О.Ю.)

Описание системы управления

Структурная схема системы управления предлагаемым аппаратом «Аэроджип» представлена ниже.

Из приведённой схемы системы управления видно, что она включает в себя три

органа управления: педали – для путевого управления аппаратом, ручку «тангаж-крен» – для продольного и поперечного управления, ручку «шаг-газ» – для управления мощностью двигателей и шагом винтов.

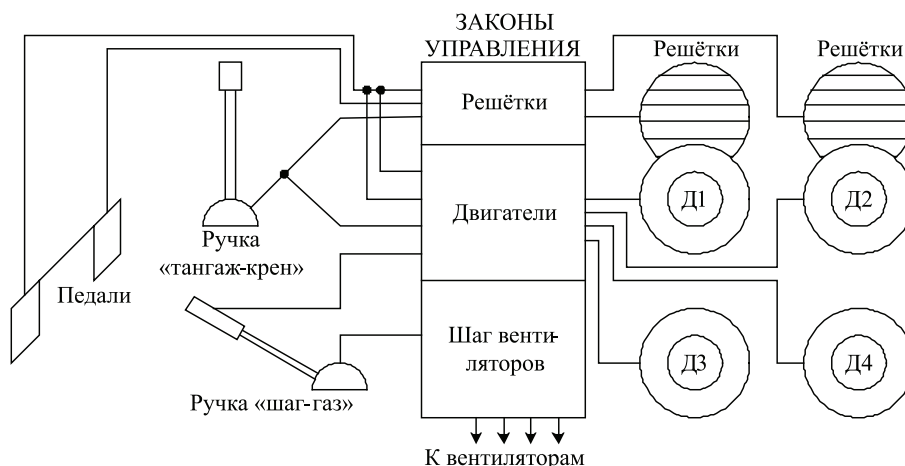


Рис. 3. Структурная схема системы управления предлагаемым аппаратом «Аэроджип»

Как уже было сказано выше, аппарат управляется главным образом за счёт дифференциального изменения силы тяги двигателей. Органы управления влияют на изменение режимов работы движителей следующим образом.

При продольных манипуляциях ручкой «тангаж-крен» происходит дифференциальное изменение оборотов передних и задних двигателей и отклонение решёток на передних вентиляторах, а, следовательно, изменение угла тангажа.

При поперечных манипуляциях ручкой «тангаж-крен» происходит дифференциальное изменение оборотов правых и левых двигателей, а, следовательно, изменение угла крена.

При манипуляциях педалями происходит дифференциальное изменение оборотов правого и левого передних двигателей и отклонение решёток на их вентиляторах, а, следовательно, путевое управление аппаратом.

При манипуляциях вперёд-назад ручкой «шаг-газ» происходит изменение шага вентиляторов на всех двигателях.

При манипуляциях рукояткой вокруг оси ручки «шаг-газ» происходит изменение оборотов всех двигателей аппарата, а, следовательно, изменение силы их тяги.

Блок-схема системы управления «Аэроджипом» показана на рис. 4.

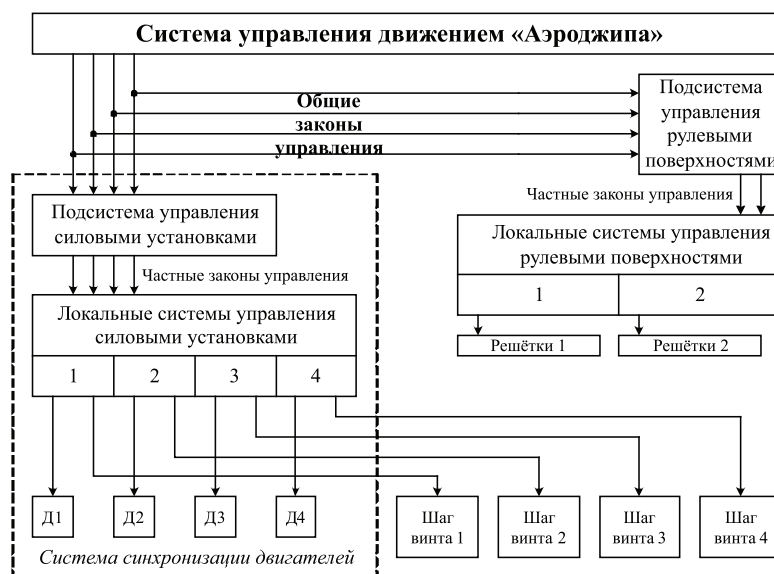


Рис. 4. Блок-схема системы управления «Аэроджипом»

Приведённая схема означает следующее.

Исходя из требуемого режима функционирования летательного аппарата, задаются параметры общей модели аппарата, находящейся в верхнем блоке. В этой модели генерируются управляющие воздействия общего вида, которые далее поступают на силовые установки и управляющие решётки, где анализируются и преобразуются в параметры моделей этих элементов. На базе вышеназванных элементов формируются управляющие воздействия на уже конкретные органы управления. Для реализации подобной структуры необходимы математические модели как всего аппарата в целом, так и отдельных его исполнительных органов.

Чтобы исследовать динамику полёта «Аэроджипа», нужно составить как можно более полную его математическую модель. В эту модель должны входить выражения для всех сил и моментов, действующих на аппарат в полёте. За основу берется известная модель движения летательного ап-

парата как твёрдого тела в связанной с аппаратом системе координат (x, y, z) . Далее в этой модели, представленной изначально в общей форме, будут проанализированы составляющие равнодействующих сил и моментов применительно к конкретному типу летательного аппарата, т.е. «Аэроджипу». Набор сил и моментов, действующие на вертикально взлетающий аппарат данной схемы, существенно отличается от такового для обычного, использующего разбег, самолёта, потому что для создания вертикальной подъёмной силы используется сила тяги двигателей. Кроме всего прочего, возможен режим полёта с нулевой горизонтальной скоростью, то есть режим висения, неосуществимый для обычного аппарата горизонтального взлёта и посадки. В этом режиме подъёмная сила у «Аэроджипа» создаётся только силой тяги двигателей посредством вентиляторов.

Обозначения

Обозначения физических величин, фигурирующих в расчёте, сведены в таблицу.

СИЛЫ	
mg	вес аппарата
$F_{\text{вх},i} = (X_{\text{вх},i}, Y_{\text{вх},i}, Z_{\text{вх},i})$	входной импульс i -го двигателя (отрицательная тяга)
$F_{\text{дв},i}$	выходной импульс i -го двигателя (полная тяга)
$X_{\text{аэро}}, Y_{\text{аэро}}, Z_{\text{аэро}}$	аэродинамические силы
МОМЕНТЫ	
$L_{\text{аэро}}, M_{\text{аэро}}, N_{\text{аэро}}$	аэродинамические моменты
$L_{\text{дв},i}, M_{\text{дв},i}, N_{\text{дв},i}$	моменты, создаваемые тягой i -го двигателя
$L_{\text{упр}}, M_{\text{упр}}, N_{\text{упр}}$	управляющие моменты
$I_{\text{рот},i}, \omega_{\text{рот},i}$	кинетический момент ротора i -го двигателя
УГЛЫ	
σ_i	угол между вектором тяги i -го двигателя и хордой крыла
ϑ	угол тангажа
χ	угол рысканья
γ	угол крена
СКОРОСТИ	
V_x, V_y, V_z	составляющие вектора линейной скорости
$\omega_x, \omega_y, \omega_z$	составляющие вектора угловой скорости

Силы и моменты, действующие на «Аэроджип»

Набор сил и моментов, оказывающих своё влияние на динамику полёта аппарата, представлен далее (в связанной системе координат).

Расчёт аэродинамических сил

Аэродинамические силы, действующие на аппарат при движении со скоростью отличной от нуля, вычисляются по следующим формулам.

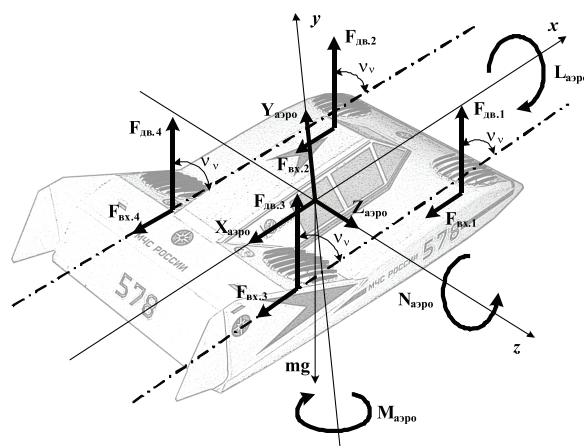


Рис. 4. Силы и моменты, действующие на «Аэроджип» в полёте

1. Сила лобового сопротивления

$$X_{\text{аэро}} = \frac{\rho v^2}{2} S_{\text{мид}} C_x.$$

$$\rho = 0,125 \frac{\text{кг} \cdot \text{с}^2}{\text{м}^4}, \quad C_x = 0,25,$$

$$S_{\text{мид}} = 3,41 \text{ м}^2, \quad C_y = 0,6,$$

2. Подъёмная сила крыла

$$Y_{\text{аэро}} = \frac{\rho v^2}{2} S_{\text{крыла}} C_y.$$

$$S_{\text{крыла}} = 15,5 \text{ м}^2, \quad C_z = 0,11.$$

$$S_{\text{бок}} = 7 \text{ м}^2,$$

3. Боковая сила

$$Z_{\text{аэро}} = \frac{\rho v^2}{2} S_{\text{бок}} C_z.$$

Расчёт моментов

Для расчёта управляющих воздействий, которыми являются силы тяги вентиляторов, нужно выяснить, как эти силы отражаются на моментах относительно координатных осей (x , y , z). Прежде всего, требуется найти плечи рычагов, к концам которых приложены силы тяги двигателей. Геометрические размеры, необходимые для этого, показаны на рисунке ниже.

В этих выражениях v – скорость движения аппарата.

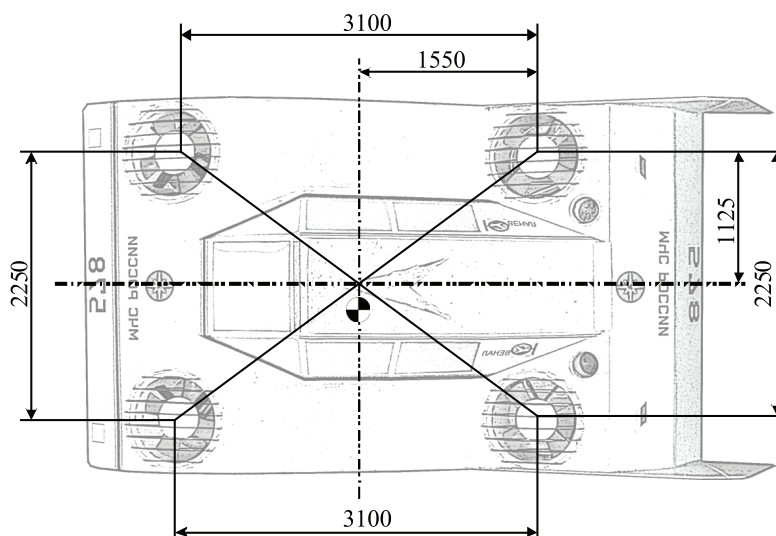


Рис. 5. К расчёту моментов

Как видно из рисунка, плечо момента относительно оси x (поперечное управление) составляет $l_x = 1,125$ м, а плечо момента относительно оси z (продольное управление) равно $l_z = 1,55$ м. Плечо момента относительно оси y рассчитывается на основе величины l_x и требует знания моментов роторов двигателей.

Теперь допустимо вычислить моменты, создаваемые тягой двигателей, по каждой из осей координат.

Момент относительно продольной оси (поперечное управление):

$$L_{\text{дв}} = (F_{\text{дв.1}} + F_{\text{дв.3}} - F_{\text{дв.2}} - F_{\text{дв.4}})l_x.$$

Момент относительно вертикальной оси (путевое управление):

$$M_{\text{дв}} = (I_{\text{рот.1}}\omega_{\text{рот.1}} - I_{\text{рот.2}}\omega_{\text{рот.2}}) + \\ + (I_{\text{рот.4}}\omega_{\text{рот.4}} - I_{\text{рот.3}}\omega_{\text{рот.3}}) + \\ + (F_{\text{дв.2}} - F_{\text{дв.1}})l_x \sin \alpha.$$

Момент относительно поперечной оси (продольное управление):

$$N_{\text{дв}} = (F_{\text{дв.1}} - F_{\text{дв.3}} + F_{\text{дв.2}} - F_{\text{дв.4}})l_y.$$

Далее, поскольку суммарный момент по каждой оси координат равен моменту инерции по этой оси, умноженному на угловую скорость относительно этой же оси, требуется найти моменты инерции. В первом приближении они рассчитываются по формулам:

$$I_x = \frac{G}{g}(\xi_x l_x)^2, \quad \xi_x = 0,12;$$

$$I_y = \frac{G}{g}\left(\xi_y \frac{l_x + l_z}{2}\right)^2, \quad \xi_y = 0,19;$$

$$I_z = \frac{G}{g}(\xi_z l_z)^2, \quad \xi_z = 0,2.$$

Вывод математической модели «Аэроджипа»

Как уже было сказано выше, для формирования общей модели «Аэроджипа» за основу берётся обобщённая математическая модель летательного аппарата как твёрдого тела:

$$\begin{cases} m(\dot{V}_x - V_y\omega_z + V_z\omega_y) = X, \\ m(\dot{V}_y - V_z\omega_x + V_x\omega_z) = Y, \\ m(\dot{V}_z - V_x\omega_y + V_y\omega_x) = Z, \\ I_x\dot{\omega}_x + (I_z - I_y)\omega_y\omega_z + I_{xy}(\omega_x\omega_z - \dot{\omega}_y) = M_x, \\ I_y\dot{\omega}_y + (I_x - I_z)\omega_x\omega_z + I_{xy}(\omega_y\omega_z - \dot{\omega}_x) = M_y, \\ I_z\dot{\omega}_z + (I_y - I_x)\omega_x\omega_y + I_{xy}(\omega_y^2 - \omega_x^2) = M_z. \end{cases}$$

В этой модели силы и моменты, действующие на летательный аппарат в полёте, представлены равнодействующими. Чтобы можно было выполнить поставленную задачу, то есть синтезировать систему управления аппаратом, нужно разложить эти равнодействующие на составляющие:

$$\begin{cases} m(\dot{V}_x - V_y\omega_z + V_z\omega_y) = -mg \sin \vartheta - X_{\text{аэро}} + \sum F_{\text{дв.}i} \cos \sigma_i + \sum X_{\text{вх.}i}, \\ m(\dot{V}_y - V_z\omega_x + V_x\omega_z) = -mg \cos \vartheta \cos \gamma + Y_{\text{аэро}} + \sum F_{\text{дв.}i} \sin \sigma_i - \sum Y_{\text{вх.}i}, \\ m(\dot{V}_z - V_x\omega_y + V_y\omega_x) = mg \cos \vartheta \sin \gamma + Z_{\text{аэро}} + \sum Z_{\text{вх.}i}, \\ I_x\dot{\omega}_x + (I_z - I_y)\omega_y\omega_z + I_{xy}(\omega_x\omega_z - \dot{\omega}_y) = \sum I_{\text{рот.}i}\omega_i r \sin \sigma_i + \\ + \sum L_{\text{дв.}i} + L_{\text{аэро}} + L_{\text{упр}}, \\ I_y\dot{\omega}_y + (I_x - I_z)\omega_x\omega_z + I_{xy}(\omega_y\omega_z - \dot{\omega}_x) = \sum I_{\text{рот.}i}\omega_i r \cos \sigma_i + \\ + M_{\text{аэро}} + \sum M_{\text{дв.}i} + M_{\text{упр}}, \\ I_z\dot{\omega}_z + (I_y - I_x)\omega_x\omega_y + I_{xy}(\omega_y^2 - \omega_x^2) = \\ = -\sum I_{\text{рот.}i}\omega_{\text{рот.}i}(p \sin \sigma_i - q \cos \sigma_i) + N_{\text{аэро}} + \sum N_{\text{дв.}i} + N_{\text{упр}}. \end{cases}$$

Поскольку главной задачей управления летательным аппаратом любого типа является позиционирование его в пространстве,

в систему дифференциальных уравнений нужно ввести уравнения для координат центра масс и углов тангажа, рысканья и крена.

$$\begin{cases}
 \dot{V}_x = \frac{1}{m} \left(-mg \sin \vartheta - X_{\text{аэро}} + \sum F_{\text{дв.}i} \cos \sigma_i + \sum X_{\text{вх.}i} \right) + V_y \omega_z - V_z \omega_y, \\
 \dot{V}_y = \frac{1}{m} \left(-mg \cos \vartheta \cos \gamma + Y_{\text{аэро}} + \sum F_{\text{дв.}i} \sin \sigma_i - \sum Y_{\text{вх.}i} \right) + V_z \omega_x - V_x \omega_z, \\
 \dot{V}_z = \frac{1}{m} \left(mg \cos \vartheta \sin \gamma + Z_{\text{аэро}} + \sum Z_{\text{вх.}i} \right) + V_x \omega_y - V_y \omega_x, \\
 \dot{\omega}_x = \frac{1}{I_x} \left(\sum I_{\text{пот.}i} \omega_{\text{пот.}i} \omega_z \sin \sigma_i + L_{\text{аэро}} + \sum L_{\text{дв.}i} - \right. \\
 \left. - (I_z - I_y) \omega_y \omega_z - I_{xy} (\omega_x \omega_z - \dot{\omega}_y) \right), \\
 \dot{\omega}_y = \frac{1}{I_y} \left(\sum I_{\text{пот.}i} \omega_{\text{пот.}i} \omega_z \cos \sigma_i + M_{\text{аэро}} + \sum M_{\text{дв.}i} - \right. \\
 \left. - (I_x - I_z) \omega_x \omega_z + I_{xy} (\omega_y \omega_z + \dot{\omega}_x) \right), \\
 \dot{\omega}_z = \frac{1}{I_z} \left(-\sum I_{\text{пот.}i} \omega_i (\omega_x \sin \sigma_i - \omega_y \cos \sigma_i) + \right. \\
 \left. + N_{\text{аэро}} + \sum N_{\text{дв.}i} - (I_y - I_x) \omega_x \omega_y - I_{xy} (\omega_y^2 - \omega_x^2) \right), \\
 \dot{X} = V_x \cos \chi \cos \vartheta + V_y (\sin \gamma \sin \chi - \cos \gamma \cos \chi \sin \vartheta) + \\
 + V_z (\cos \gamma \sin \chi - \sin \gamma \cos \chi \sin \vartheta), \\
 \dot{Y} = V_x \sin \vartheta + V_y \cos \gamma \cos \vartheta - V_z \sin \gamma \cos \vartheta, \\
 \dot{Z} = -V_x \sin \chi \cos \vartheta + V_y (\sin \gamma \cos \chi - \cos \gamma \sin \chi \sin \vartheta) + \\
 + V_z (\cos \gamma \cos \chi - \sin \gamma \sin \chi \sin \vartheta), \\
 \dot{\vartheta} = \omega_x \sin \gamma + \omega_z \cos \gamma, \\
 \dot{\gamma} = \omega_x - tg \vartheta (\omega_y \cos \gamma - \omega_z \sin \gamma), \\
 \dot{\chi} = \omega_y \frac{\cos \gamma}{\cos \vartheta} - \omega_z \frac{\sin \gamma}{\cos \vartheta}.
 \end{cases}$$

После подстановки выражений для всех сил и моментов в математическую модель движения аппарата, последняя принимает вид:

$$\left\{ \begin{aligned} \dot{V}_x &= \frac{1}{m} \left(-mg \sin \vartheta - X_{\text{аэро}} + \sum F_{\text{дв.}i} \cos \sigma_i + \sum X_{\text{вх.}i} \right) + V_y \omega_z - V_z \omega_y, \\ \dot{V}_y &= \frac{1}{m} \left(-mg \cos \vartheta \cos \gamma + Y_{\text{аэро}} + \sum F_{\text{дв.}i} \sin \sigma_i - \sum Y_{\text{вх.}i} \right) + V_z \omega_x - V_x \omega_z, \\ \dot{V}_z &= \frac{1}{m} \left(mg \cos \vartheta \sin \gamma + Z_{\text{аэро}} + \sum Z_{\text{вх.}i} \right) + V_x \omega_y - V_y \omega_x, \\ \dot{\omega}_x &= \frac{1}{I_x} \left(\sum I_{\text{пот.}i} \omega_{\text{пот.}i} \omega_z \sin \sigma_i + L_{\text{аэро}} + \sum L_{\text{дв.}i} - \right. \\ &\quad \left. - (I_z - I_y) \omega_y \omega_z - I_{xy} (\omega_x \omega_z - \dot{\omega}_y) \right), \\ \dot{\omega}_y &= \frac{1}{I_y} \left(\sum I_{\text{пот.}i} \omega_{\text{пот.}i} \omega_z \cos \sigma_i + M_{\text{аэро}} + \sum M_{\text{дв.}i} - \right. \\ &\quad \left. - (I_x - I_z) \omega_x \omega_z + I_{xy} (\omega_y \omega_z + \dot{\omega}_x) \right), \\ \dot{\omega}_z &= \frac{1}{I_z} \left(-\sum I_{\text{пот.}i} \omega_{\text{пот.}i} (\omega_x \sin \sigma_i - \omega_y \cos \sigma_i) + \right. \\ &\quad \left. + N_{\text{аэро}} + \sum N_{\text{дв.}i} - (I_y - I_x) \omega_x \omega_y - I_{xy} (\omega_y^2 - \omega_x^2) \right), \\ \dot{X} &= V_x \cos \chi \cos \vartheta + V_y (\sin \gamma \sin \chi - \cos \gamma \cos \chi \sin \vartheta) + \\ &\quad + V_z (\cos \gamma \sin \chi - \sin \gamma \cos \chi \sin \vartheta), \\ \dot{Y} &= V_x \sin \vartheta + V_y \cos \gamma \cos \vartheta - V_z \sin \gamma \cos \vartheta, \\ \dot{Z} &= -V_x \sin \chi \cos \vartheta + V_y (\sin \gamma \cos \chi - \cos \gamma \sin \chi \sin \vartheta) + \\ &\quad + V_z (\cos \gamma \cos \chi - \sin \gamma \sin \chi \sin \vartheta), \\ \dot{\vartheta} &= \omega_x \sin \gamma + \omega_z \cos \gamma, \\ \dot{\gamma} &= \omega_x - tg \vartheta (\omega_y \cos \gamma - \omega_z \sin \gamma), \\ \dot{\chi} &= \omega_y \frac{\cos \gamma}{\cos \vartheta} - \omega_z \frac{\sin \gamma}{\cos \vartheta}. \end{aligned} \right.$$

Таким образом, составлена полная нелинейная математическая модель «Аэроджипа», на основе анализа которой вырабатываются

управляющие воздействия общего вида, поступающие на подсистемы управления исполнительными механизмами летательного аппарата.

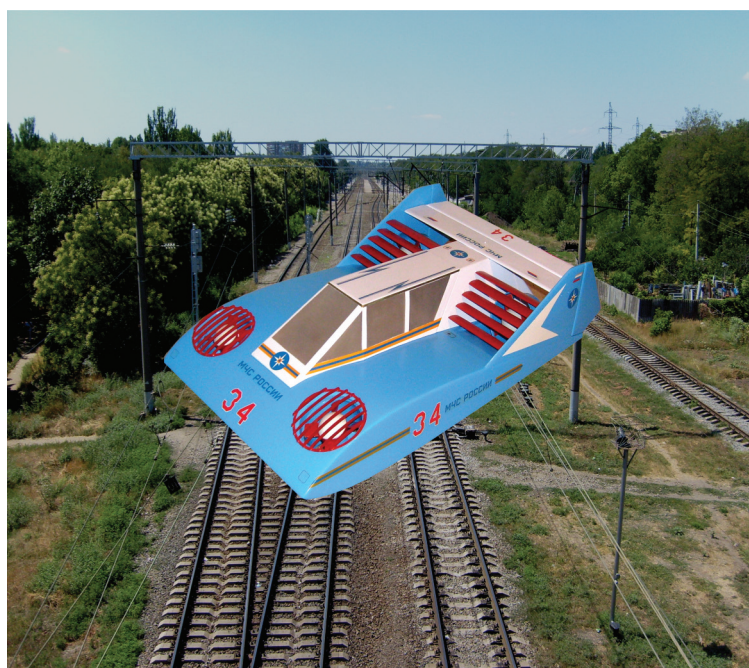


Рис. 6. Так могло бы выглядеть наше творение в полёте...

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колесников А.А., Мушенко А.С. Синергетическое управление процессами пространственного движения летательных аппаратов // *Авиакосмическое приборостроение*. – 2004. – № 2.
2. Колесников А.А. Синергетические методы управления авиационными объектами и системами // *Авиакосмическое приборостроение*. – 2004. – № 8.
3. Исследования в области теоретической и прикладной аэрогидродинамики / под ред. заслуженного деятеля науки РСФСР проф. Н.С. Аржаникова // *Труды Московского Авиационного Института*, выпуск III – М.: Оборонгиз, 1959.
4. Шайдаков В.И. Аэродинамика винта в кольце: учебное пособие. – М.: Изд-во МАИ, 2006.
5. Курочкин Ф.П. Основы проектирования самолётов с вертикальным взлётом и посадкой. – М.: Машиностроение, 1970.
6. Макаров Ю.В. Летательные аппараты МАИ. – М.: Изд-во МАИ, 1994.
7. Воронков Ю.С., Воронков О.Ю. «Лёгкий много-режимный летательный аппарат», патент РФ №2348568 от 29.06.2007, МПК8 В64С 15/00, В64С 15/12.
8. Воронков Ю.С., Воронков О.Ю. «Авиационная система обеспечения спасательных работ», патент РФ № 2381959 от 11 июля 2008 года, МПК В64С 27/00, А62В 1/00.

УДК 548.3:669.018

ПОИСК ЭФФЕКТИВНЫХ МОДИФИКАТОРОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ NI-P ПОКРЫТИЙ С АНТИФРИКЦИОННЫМИ СВОЙСТВАМИ

^{1,2}Дерлугян П.Д., ^{1,2}Иванов В.В., ¹Иванова И.В., ^{1,2}Логинов В.Т., ¹Шишка В.Г.,
^{1,2}Щербачев И.Н.

¹ФГУП ОКБ «ОРИОН», Новочеркасск;

²Южно-Российский государственный технический университет,
Новочеркасск, e-mail: valivanov11@mail.ru

Обсуждается возможность поиска эффективных модификаторов для получения композиционных Ni-P покрытий с антифрикционными свойствами. Проанализирована эффективность ультрадисперсных оксидов со структурами корунда и рутила, углерода и нитрида бора с алмазоподобными структурами, металлов со структурами типа вольфрама и магния.

Ключевые слова: структурно-фазовая разупорядоченность, наноструктуры, композиционные покрытия, наноалмаз, трибологические свойства

THE CHOICE OF THE EFFECTIVE MODIFIERS FOR RECEIPT OF COMPOSITIONAL NI-P COATINGS WITH ANTI-FRICTIONAL PROPERTIES

^{1,2}Derlugyan P.D., ^{1,2}Ivanov V.V., ¹Ivanova I.V.,
^{1,2}Loginov V.T., ¹Shishka V.G., ^{1,2}Shcherbakov I.N.

¹FGUE SDTU «ORION», Novocherkassk;

²South-Russian state engineering university, Novocherkassk, e-mail: valivanov11@mail.ru

The possible of choice of the effective modifiers for compositional Ni-P coatings with anti-frictional properties receipt was discussed. The efficiency of the ultradispersional powders of oxides with corundum and rutile structures, the carbon and boron nitride with diamond-like structures, the metals with W and Mg type structures was examined.

Keywords: structural phase disordering, nanostructures, compositional coats, nanodiamond, tribologic properties

Химическое модифицирование состава композиционных покрытий (КП) и поверхности трения – один из перспективных способов защиты изделий от коррозионно-механического изнашивания [1-4]. Известно, что при получении КП на основе Ni-P покрытий используют различные модифицирующие добавки, которые приводят к образованию покрытий систем Ni – модификатор – P [3, 4]. Роль модификатора обычно выполняют ультрадисперсные материалы, которые должны обеспечить присутствие в КП фаз с антифрикционными свойствами и существенно улучшить трибологические характеристики поверхности. В результате возможных химических и физико-химических процессов в КП при его формировании и при трибоконтакте поверхности покрытия с сопряженной поверхностью узла трения необходимо, чтобы были в наличии определенные фазы, характеризующие твердую и смазочную компоненты покрытия [4]. В этом случае введение модификаторов, удовлетворяющих данным условиям, должно привести к улучшению свойств поверхности КП по сравнению со свойствами Ni-P покрытия без модификатора и обеспечить коррозионную и механическую защиту изделия в узлах трения.

Для получения эффективных композиционных Ni-P покрытий (КНФП) используют, в частности, дисперсные материалы в виде простых оксидов состава Me₂O₃ (Me – Al, Cr) со структурой типа корунда, MeO₂ (Me – Ti, Zr, Ce) со структурой типа рутила или ультрадисперсные металлические порошки: Me – Cr, Mo, W, V, Ta с кубической структурой типа вольфрама, Me – Ti, Zr с гексагональной структурой типа магния [5, 6]. Результаты моделирования фазово-разупорядоченного состояния поверхности некоторых КНФП в процессе трения получены в соответствии с методиками [2, 4, 7-10] и приведены в [7, 11-15]. Результаты моделирования свойств поверхности этих КНФП представлены в [16-23]. Трибологические свойства поверхности КНФП при трении с поверхностью стали марки Ст45 оценивали в соответствии с моделью «концентрационной волны» [3, 4, 21].

При трении для всех дисперсных материалов предполагались процессы деагрегации микрочастиц и их частичная диспергация до образования наночастиц. В частности, для КНФП, модифицированного наноалмазом, предполагалось, что в процессе трения происходит разрушение агрегатов углеродсодержащих наночастиц,

«графитизация» их поверхностных оболочек и образование, в частности, «ядер» в виде фуллереноподобных наноструктур (в том числе и малых фуллеренов) диаметром до 0,7 нм [24]. Для КНФП, модифицированного BN, неметаллические компоненты композиции окисляют металл композиции с образованием ультрадисперсных фаз соответствующих низкобористых соединений [2–4].

Результаты исследований по моделированию двумерных наноструктур [4, 25–29] и поверхностных фрактальных структур [4, 30–41] послужили в качестве банка аппроксимантов для идентификации вероятных распределений фаз и нанообъектов по поверхности покрытия и для оценки вклада конфигураций межфазных границ в эффект синергизма трибологических свойств.

На диаграмме «коэффициент трения – скорость линейного износа» (рис. 1) пред-

ставлены результаты расчета свойств покрытий для условий трения без жидкого смазочного материала. Установлено, что использование для получения КНФП модифицирующих добавок в виде высокодисперсных порошков оксидов переходных металлов со структурами корунда и рутила может привести к существенному улучшению износостойкости (примерно на 20%) и незначительному снижению коэффициента трения поверхности Ni-P покрытий (рис. 1). Эффект улучшения трибологических свойств в этом случае даже несколько выше, чем при использовании в качестве модификаторов твердых смазочных материалов со слоистыми структурами (MoS₂ и C (гексагональный графит)). Однако по износостойкости эффект улучшения несколько ниже, чем для КНФП с модифицирующей добавкой в виде ультрадисперсного a-BN (см. рис. 1).

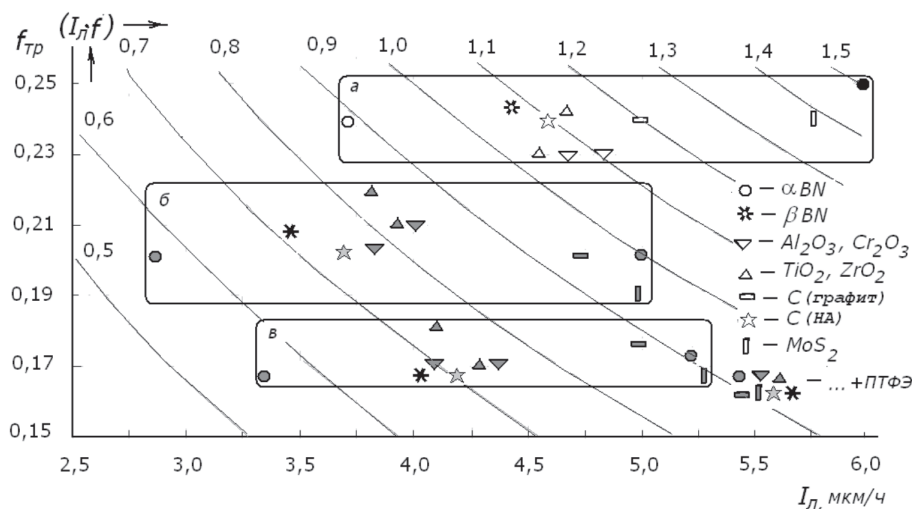


Рис. 1. Диаграмма $f_{тр} - I_L$ для КНФП с различными модификаторами без политетрафторэтилена (ПТФЭ) (а) и с добавлением ПТФЭ (б, в). Свойства рассчитаны в соответствии с методикой [2] для условий трения без жидкого смазочного материала: величина удельной нагрузки $P = 1$ МПа, скорость трения 0,048 м/с, сопряженная поверхность – сталь Ст45

При совместном введении модификаторов политетрафторэтилена (ПТФЭ) и оксидов металлов коэффициент трения КНФП существенно снижается (на 20–40% по сравнению с аналогичным показателем для Ni-P покрытий, в зависимости от концентрации ПТФЭ). В этом случае по эффективности модифицирования поверхности покрытия ультрадисперсные оксиды переходных металлов с указанными структурами, BN с алмазоподобной структурой и наноалмаз (НА) занимают промежуточное положение между твердыми смазочными материалами со слоистыми структурами и ультрадисперсным a-BN. (рис. 1 и 2). Установлено, что при использовании всех видов моди-

фикаторов значения износофрикционности ($I_L f$) КНФП закономерно уменьшаются по мере увеличения объемной концентрации а фаз смазочной компоненты композиционных покрытий [4] (рис. 2).

Таким образом, предложены количественные критерии выбора ультрадисперсных материалов, которые могут быть использованы как модификаторы для получения антифрикционных КНФП на основе Ni-P покрытий. В соответствии с критериями проанализирована возможность использования в качестве модифицирующих добавок оксидов металлов со структурами корунда и рутила, соответствующих металлических порошков и ПТФЭ, а также нано-

алмаза и ультрадисперсного нитрида бора с добавлением ПТФЭ. Сравнительным анализом трибологических свойств указанных выше КНФП, рассчитанных в соответствии с синергической моделью «концентрацион-

ной волны», и аналогичными данными для КНФП с модификаторами типа MoS_2 и С (графит) установлена их потенциальная эффективность для повышения износостойкости и антифрикционности Ni-P покрытий.

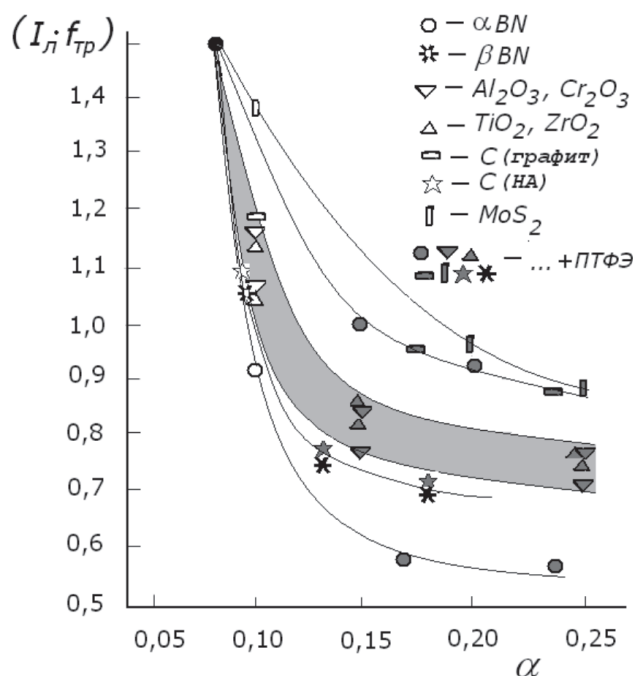


Рис. 2. Диаграмма $(I_{\text{л}} f_{\text{тр}}) - \alpha$ для КНФП с различными модификаторами

Эта эффективность косвенно подтверждается, в частности, результатами трибологических испытаний твердосмазочных антифрикционных покрытий, полученных с использованием ультрадисперсного оксида алюминия [42] и наночастиц алмаза [43].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кутков А.А. Износостойкие и антифрикционные покрытия. – М: Машиностроение, 1976 – 152 с.
2. Иванов В.В. Комбинаторное моделирование вероятных структур неорганических веществ. – Ростов н/Д: Изд-во СКНЦ ВШ, 2003. – 204 с.
3. Иванов В.В., Щербаков И.Н. Моделирование композиционных никель-фосфорных покрытий с антифрикционными свойствами. – Ростов н/Д: Изд-во журн. «Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион», 2006. – 112 с.
4. Щербаков И.Н., Иванов В.В., Логинов В.Т., Дерлугян П.Д., Трофимов Г.Е., Дерлугян Ф.П. Химическое наноконструирование композиционных материалов и покрытий с антифрикционными свойствами. – Ростов н/Д: Изд-во журн. «Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки», 2011. – 152 с.
5. Урусов В.С. Теоретическая кристаллохимия. – М.: Изд-во МГУ, 1987. – 276 с.
6. Уэллс А. Структурная неорганическая химия. В 3-х томах. – М.: Мир, 1987/88. Т.1. – 408 с.; Т.2. 696 с.; Т.3. 564с.
7. Иванов В.В. // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. Спецвыпуск. Проблемы трибозлектрохимии. – 2005. – С.128-130.
8. Беспалова Ж.И., Иванов В.В., Смирницкая И.В., Фесенко Л.Н., Кудрявцев Ю.Д. // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Естеств. науки. – 2008. Спецвыпуск: Проблемы электрохимии и экологии. – С. 52-56.
9. Беспалова Zh.I., Ivanov V.V., Smirnitckaya I.V., Fesenko L.N., Kudryavtsev Yu.D // Russian Journal of Applied Chemistry. – 2010. Т.83. – № 2. – С.242-246.
10. Ivanov V.V., Bepalova Zh.I., Smirnitckaya I.V., Lipkin M.S., Kudryavtsev Yu.D // Russian Journal of Applied Chemistry. – 2010. Т.83. № 5. – С.831-834.
11. Иванов В.В. // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки, 2001. – №3. – С.60-61.
12. Иванов В.В., Логинов В.Т., Башкиров О.М., Щербаков И.Н., Данюшина Г.А., Докукин И.И. // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки, 2003. – №2. – С. 105-107.
13. Иванов В.В., Логинов В.Т., Башкиров О.М. Щербаков И.Н., Марченко С.И. // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки, 2003. – №3. – С.54-55.
14. Иванов В.В., Щербаков И.Н. // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки, 2006. – Приложение №2. – С.117-119.
15. Иванов В.В., Щербаков И.Н. // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. 2010. – № 3. – С.73-77.
16. Иванов В.В., Иванов А.В., Щербаков И.Н., Башкиров О.М. // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. – 2005. – №3. – С.46-49.

17. Иванов В.В., Щербаков И.Н., Башкиров О.М., Логинов В.Т. // Изв. вузов. Сев-Кавк. регион. Техн. науки. – 2005. – №4. – С.62-64.
18. Иванов В.В., Щербаков И.Н. // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. 2008. № 4. – С. 116-118.
19. Иванов В.В., Щербаков И.Н. // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. 2010. №5. – С.72-75.
20. Иванов В.В., Щербаков И.Н. // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. 2010. №6. – С.79-82.
21. Иванов В.В., Щербаков И.Н. // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. 2011. №3. – С.54-56.
22. Иванов В.В., Щербаков И.Н. // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. 2008. № 3. – С.113-115.
23. Иванов В.В., Щербаков И.Н. // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. 2011. №5. – С.47-50.
24. Покропивный В.В., Ивановский А.Л. // Успехи химии, 2008. – Т.77. – № 10. – С.899-937.
25. Иванов В.В., Шабельская Н.П., Таланов В.М. // Современные наукоемкие технологии, 2010. №10. – С.176-179.
26. Иванов В.В., Таланов В.М. // Наносистемы: Физика, Химия, Математика, 2010. Т.1. №1. – С.72-107.
27. Иванов В.В., Таланов В.М., Гусаров В.В. // Наносистемы: Физика, Химия, Математика, 2011. Т.2. № 3. – С.121-134.
28. Иванов В.В., Таланов В.М., Гусаров В.В. // Наносистемы: Физика, Химия, Математика, 2012. Т.3. № 4. – С.82-100.
29. Иванов В.В., Таланов В.М. // Журн. структурн. химии. 2013. – Т.54. №2. – С. 354-376.
30. Иванов В.В., Шабельская Н.П., Таланов В.М., Попов В.П. // Успехи современного естествознания, 2012. №2. – С. 60-63.
31. Иванов В.В., Демьян В.В., Таланов В.М. // Междунар. журн. эксп. образования, 2010. №11. – С.153-155.
32. Иванов В.В., Таланов В.М. // Успехи современного естествознания, 2012. – №3. – С.56-57.
33. Иванов В.В., Демьян В.В., Таланов В.М. // Успехи современного естествознания, 2012. – №4. – С.230-232.
34. Иванов В.В., Таланов В.М. // Современные наукоемкие технологии. 2012. – №2. – С.76-78.
35. Иванов В.В., Щербаков И.Н., Таланов В.М. // Современные наукоемкие технологии. 2012. – №1. – С.54-55.
36. Иванов В.В., Таланов В.М. // Успехи современного естествознания. 2012. – №11. – С.61-62.
37. Иванов В.В., Таланов В.М. // Современные наукоемкие технологии. 2012. №11. – С.24-26.
38. Иванов В.В., Таланов В.М. // Успехи современного естествознания. 2012. – №11. – С.63-65.
39. Иванов В.В., Таланов В.М. // Современные наукоемкие технологии. 2012. – №12. – С.16-17.
40. Иванов В.В., Таланов В.М. // Современные наукоемкие технологии. 2012. – №11. – С.22-23.
41. Иванов В.В., Таланов В.М. // Кристаллография. – 2013. – Т.58. – № 3. – С. 370-379.
42. Патент № 2451113 РФ / Г.Е. Трофимов, И.Н. Щербаков, М.Ю. Шевченко, В.Т. Логинов, П.Д. Дерлугян, Ф.П. Дерлугян, В.В. Иванов. – Оpubл. 20.05 2012. – Бюл. № 14.
43. Патент № 2473711 РФ / Г.Е. Трофимов, И.Н. Щербаков, М.Ю. Шевченко, В.Т. Логинов, П.Д. Дерлугян, Ф.П. Дерлугян, В.В. Иванов. – Оpubл. 27.01.2013. Бюл. № 3.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ, соглашение № 14.U01.21.1078.

УДК 548.3:669.018

ВЕРОЯТНЫЕ ИЗОСИММЕТРИЙНЫЕ И ДЕФОРМАЦИОННЫЕ МОДИФИКАЦИИ ФУЛЛЕРЕНОВ С ОБОЛОЧКАМИ ОКТАЭДРИЧЕСКОЙ ВЕТВИ КЛАССИФИКАЦИИ В АНТИФРИКЦИОННЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЯХ

^{1,2}Дерлугян П.Д., ^{1,2}Иванов В.В., ¹Иванова И.В.,

^{1,2}Логинов В.Т., ¹Данюшина Г.А.

¹ФГУП ОКБ «ОРИОН, Новочеркасск;

²Южно-Российский государственный технический университет,
Новочеркасск, e-mail: valivanov11@mail.ru

Обсуждается возможная структурно-фазовая разупорядоченность углеродсодержащих наночастиц в антифрикционных композиционных покрытиях, модифицированных наноалмазом. Рассматриваются вероятные изосимметричные и деформационные модификации наноструктур с атомными оболочками октаэдрической ветви классификации фуллеренов и их возможное влияние на трибологические свойства покрытий.

Ключевые слова: структурно-фазовая разупорядоченность, композиционные покрытия, наноалмаз, наноструктуры, атомные оболочки фуллеренов

PROBABLY ISOSYMMETRIC AND DEFORMATIONAL MODIFICATIONS OF FULLERENE'S WITH COVERS BY OCTAHEDRAL BRANCH CLASSIFICATION INTO ANTIFRICTION COMPOSITIONAL COATINGS

^{1,2}Derlugyan P.D., ^{1,2}Ivanov V.V., ¹Ivanova I.V.,

^{1,2}Loginov V.T., ¹Danyushina G.A.

¹FGUE SDTU «ORION», Novocherkassk;

²South-Russian state engineering university, Novocherkassk, e-mail: valivanov11@mail.ru

The possible structural phase disordering of carbon containing nanoparticles into antifriction compositional coats modified by nanodiamond was discussed. The probably isosymmetric and deformational modifications of nanostructures with atomic covers of octahedral branch of fullerene's classification and the possible influence onto tribologic properties of the coatings were examined.

Keywords: structural phase disordering, compositional coatings, nanodiamond, nanostructures, fullerenes atomic covers

При трении поверхностные слои гетерогенных антифрикционных материалов и композиционных покрытий (КП) переходят в фазово-разупорядоченное состояние [1-3], которое, благодаря наличию межфазных «дефектов» и ультрадисперсных компонентов, способствует проявлению эффекта синергизма. В соответствии с синергической моделью «концентрационной волны» [4] скорость линейного износа и коэффициент трения КП зависят от относительной величины эффекта синергизма, который определяется размерным и наноструктурным факторами. Для КП разного фазового состава наноструктурный параметр, характеризующий объемную долю наночастиц фаз твердых компонент трибосопряженных поверхностей, принимает значения в интервале от 0,03 до 0,17 [5-16]. На основе анализа фазово-разупорядоченного состояния трибосопряженных поверхностей в соответствии с методиками [17-24] и количе-

ственного учета вероятного эффекта синергизма свойств компонентов КП возможен целенаправленный выбор эффективных модификаторов [8, 9].

Данная работа посвящена анализу возможной структурно-фазовой разупорядоченности углеродсодержащих наночастиц в антифрикционных КП, модифицированных наноалмазом. Рассмотрены некоторые из вероятных наноструктур с атомными оболочками фуллеренов октаэдрической ветви классификации, представленной в [25].

Топологические преобразования октаэдра определяются известными соотношениями между полиэдрами-изогонами (рис. 1):

октаэдр $O\{3333\} \rightarrow$ усеченный октаэдр $tO\{466\} \rightarrow$ кубооктаэдр $CO\{3434\} \rightarrow$ усеченный куб $tC\{388\} \rightarrow$ куб $C\{444\}$.

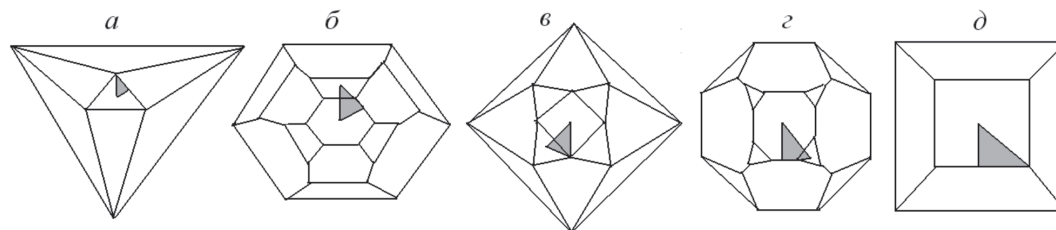


Рис. 1. Проекция оболочек и фундаментальные области группы симметрии O_h для $O\{3333\}$ (а) и его топологических производных из основной ветви преобразований: $tO\{466\}$ (б), $CO\{3434\}$ (в), $tC\{388\}$ (г) и $C\{444\}$ (д)

Возможны также следующие преобразования с сохранением симметрии октаэдра O_h :

кубооктаэдр $CO\{3434\} \rightarrow$ усеченный
кубооктаэдр $tCO\{468\}$
 $\rightarrow$ ромбокубооктаэдр $RCO\{3444\}$,
усеченный октаэдр $tO\{466\} \rightarrow$
 $\{2\{3.8.12\} + \{3.12.12\}\} \rightarrow \{3436\}$.

Характеристики всех полученных выше полиэдров с симметрией октаэдра O_h , в том числе расчетные значения диаметра соответствующих им фуллеренов и возможные составы оболочек углеродсодержащих наноструктур в соответствии с [25], представлены в табл. 1.

Таблица 1
Характеристика полиэдров с симметрией O_h [25]

Полиэдр	Количество			Состав фуллерена	Диаметр фуллерена, нм	Общая формула состава оболочек наноструктур
	вершин	ребер	граней			
$O\{3333\}$	6	12	8	C_6	0,19	C_{6+24z}
$tO\{366\}$	24	36	14	C_{24}	0,27	C_{24z}
$CO\{3434\}$	12	24	14	C_{30}	0,29	C_{12+24z}
$tC\{388\}$	24	36	14	C_{24}	0,26	C_{24z}
$C\{444\}$	8	12	6	C_8	0,20	C_{8+24z}
$tCO\{468\}$	48	72	26	C_{48}	0,35	C_{24z}
$RCO\{3444\}$	24	48	26	C_{24}	0,26	C_{24z}
$2\{3.8.12\} + \{3.12.12\}$	72	108	38	C_{72}	0,41	C_{24z}
$\{3436\}$	36	72	38	C_{36}	0,31	C_{12+24z}

Аналогичные данные для полиэдров с кубической симметрией могут быть получены при анализе фундаментальной области точечной группы O_h . Симметрический комплекс группы содержит центр симметрии, 12 поворотных осей симметрии 2-го порядка, 4 инверсионные оси симметрии 3-го порядка, 6 поворотных осей симметрии 4-го порядка и 12 плоскостей симметрии.

Фундаментальная область группы – замкнутая неправильная трехгранная пирамида, ребрами которой являются ближайшие друг к другу оси симметрии 2-го, 3-го и 4-го порядка (рис. 2). Положение вершин вероятных многогранников и их локальная симметрия в фундаментальной области точечной группы O_h представлены на рис. 3.

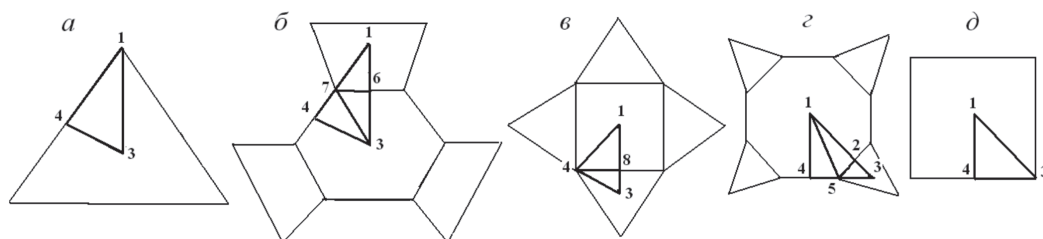


Рис. 2. Соотношения структурных элементов модификаций фуллеренов с симметрией O_h : $C_6 - O\{3333\}$ – (а), $C_{24} - tO\{366\}$ – (б), $C_{12} - CO\{3434\}$ – (в), $C_{24} - tC\{388\}$ – (г), $C_8 - C\{444\}$ – (д)

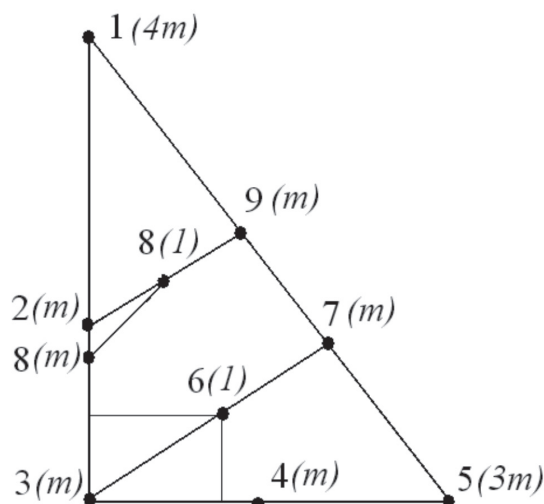


Рис.3. Положение вершин вероятных многогранников и их локальная симметрия в фундаментальной области точечной группы симметрии O_h : 1 – $O\{3333\}$, 2 – $tO\{366\}$, 3 – $CO\{3434\}$, 4 – $tC\{388\}$, 5 – $C\{444\}$, 6 – $tCO\{468\}$, 7 – $RCO\{3444\}$, 8 – многогранник с топологией вершин $(2\{3.8.12\}+\{3.12.12\})$, 9 – многогранник $\{3436\}$

В [26] методом анализа фундаментальных областей точечной группы симметрии перечислены группы симметрии всех возможных симметрично неэквивалентных разновидностей молекул фуллеренов, которые могут возникнуть в результате ее непрерывных деформаций. В частности, для молекулы фуллерена C_{60} авторами выделено 23 различных типа структурных элементов, которым соответствуют 23 типа симметрично неэквивалентных разновидностей молекулы [26]. Аналогичный анализ с ис-

пользованием данных о структурных элементах (рис. 2) для получения вероятных деформационных модификаций может быть проведен и для других молекул фуллеренов, например, для двух изосимметричных молекул состава C_{24} (табл. 2). Используемые в таблице 2 обозначения структурных элементов фундаментальной области точечной группы O_h для фуллеренов состава C_{24} в форме усеченного октаэдра и в форме усеченного куба указаны на рис.2,б и 2,г, соответственно.

Таблица 2
Возможные структурные состояния молекулы фуллерена C_{24}

Структурный элемент *	Размерность	Симметрия орбиты	Собственная симметрия
Фуллерен в форме усеченного октаэдра			
1	1	$m \bar{3}m$	4mm
3			3m
4			mm2
6, 7			m
1-6, 1-7, 3-6, 3-4, 4-7	2	$m \bar{3}m$	m
3-7, 6-7			1
1-6-7, 3-6-7, 3-4-7	3	$m \bar{3}m$	1
Фуллерен в форме усеченного куба			
1	1	$m \bar{3}m$	4mm
3			3m
4			mm2
2, 5			m
1-2, 1-4, 2-3, 3-5, 4-5	2	$m \bar{3}m$	m
1-5, 2-5			1
1-2-5, 3-2-5, 1-4-5	3	$m \bar{3}m$	1

Для обеих изосимметричных модификаций молекулы фуллерена C_{24} выделено 15 различных типов структурных элементов (табл. 2). Отметим, что этим элементам соответствуют 15 типов симметрично неэквивалентных деформационных модификаций, которые также образуют 15 пар изосимметричных модификаций.

Таким образом, установлено, что при модифицировании КП наноалмазом фазовая и структурная разупорядоченность углеродсодержащих наночастиц на их поверхности после трибовоздействия может быть обусловлена, в частности, наличием фуллереноподобных наночастиц с диаметром менее 0,5 нм с симметрией группы O_h и их вероятных деформационных модификаций. Все углеродсодержащие наночастицы в соответствии с синергической моделью могут рассматриваться как «фазы» твердой компоненты, проявляющие свойства твердых смазочных материалов и эффективно влияющие на трибологические свойства КП [8, 9]. Это косвенно подтверждается, в частности, результатами трибологических испытаний соответствующих твердосмазочных антифрикционных покрытий, полученных с использованием наночастиц алмаза [27].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов В.В. Комбинаторное моделирование вероятных структур неорганических веществ. – Ростов-на-Дону: Изд-во СКНЦ ВШ, 2003. – 204 с.
2. Иванов В.В. // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. 2001. – №3. – С. 60-61.
3. Иванов В.В. // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. Спецвыпуск. Проблемы трибоэлектрохимии. – 2005. – С. 128-130.
4. Иванов В.В., Иванов А.В., Щербаков И.Н., Башкиров О.М. // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. – 2005. – №3. – С. 46-49.
5. Иванов В.В., Логинов В.Т., Башкиров О.М. Щербаков И.Н., Марченко С. И. // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. – 2003. – №3. – С. 54-55.
6. Иванов В.В., Башкиров О.М., Щербаков И.Н. и др. // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. Спецвыпуск. Композиционные материалы. – 2005. – С. 50-52.
7. Balakai V.I., Ivanov V.V., Balakai I.V., Arzumanovala A.V. // Russian Journal of Applied Chemistry. 2009. – Т.82. – №.5. – С. 851-856.
8. Иванов В.В., Щербаков И.Н. Моделирование композиционных никель-фосфорных покрытий с антифрикционными свойствами. – Ростов н/Д: Изд-во журн. «Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион», 2008. – 112 с.
9. Щербаков И.Н., Иванов В.В., Логинов В.Т. и др. Химическое конструирование композиционных материалов и покрытий с антифрикционными свойствами. – Ростов н/Д: Изд-во журн. «Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки», – 2011. – 152 с.
10. Иванов В.В., Щербаков И.Н., Иванов А.В., Башкиров О.М. // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. 2005. – №4. – С. 62-64.
11. Иванов В.В., Щербаков И.Н. // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. – 2008. – № 3. – С. 113-115.
12. Иванов В.В., Щербаков И.Н. // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. – 2008. – № 4. – С. 116-118.
13. Ivanov V.V., Balakai V.I., Ivanov A.V., Arzumanovala A.V. // Russian Journal of Applied Chemistry. 2006. Т.79. – № 4. – С. 610-613.
14. Иванов В.В., Щербаков И.Н. // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. – 2010. – №5. – С. 72-75.
15. Ivanov V.V., Balakai V.I., Kurnakova N.Yu., Arzumanovala A.V., Balakai I.V., // Russian Journal of Applied Chemistry. – 2008. – Т.81. – № 12. – С. 2169-2171.
16. Щербаков И.Н., Иванов В.В. // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. – 2011. – №5. – С. 47-50.
17. Иванов В.В., Таланов В.М. // Наносистемы: Физика, Химия, Математика. 2010. Т.1. №1. С. 72-107.
18. Иванов В.В., Таланов В.М., Гусаров В.В. // Наносистемы: Физика, Химия, Математика. 2011. Т.2. – № 3. – С. 121-134.
19. Иванов В.В., Таланов В.М., Гусаров В.В. // Наносистемы: Физика, Химия, Математика. 2012. – Т.3. – № 4. – С. 82-100.
20. Иванов В.В., Таланов В.М. // Кристаллография. 2010. – Т.55. – № 3. – С. 385-398.
21. Иванов В.В., Таланов В.М. // Журн. неорганической химии. 2010. – Т.55. – № 6. – С. 980-990.
22. Иванов В.В., Таланов В.М. // Физика и химия стекла. – 2008. – Т.34. – №4. – С. 528-567.
23. Иванов В.В., Таланов В.М. // Журн. структурн. химии. 2013. – Т.54. – №2. – С. 354-376.
24. Иванов В.В., Таланов В.М. // Кристаллография. 2013. – Т.58. – № 3. – С. 370-379.
25. Кустов Е.Ф., Нефедов В.И., Карелина М.С. и др. // Журн. неорганической химии, 2006. – Т.51. – №11. – С. 1906-1915.
26. Talanov V.M., Fedorova N.V. // In: Handbook on Fullerene. Synthesis, Properties and Applications. – N-Y: Nova Science Publishers, Inc., 2012. Ch.3. P. 151-195.
27. Патент №2473711 РФ / Г.Е. Трофимов, И.Н. Щербаков, М.Ю. Шевченко, В.Т. Логинов, П.Д. Дерлугян, Ф.П. Дерлугян, В.В. Иванов. – Оpubл. 27.01.2013. Бюл. № 3.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ, соглашение № 14.U01.21.1078.

УДК 548.1

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВОЗМОЖНЫХ ГИБРИДНЫХ МОНОМОДУЛЯРНЫХ ФРАКТАЛЬНЫХ СТРУКТУР

Иванов В.В.

Южно-Российский государственный технический университет, Новочеркасск,
e-mail: valivanov11@mail.ru

Представлена общая характеристика возможных гибридных мономодулярных фрактальных структур в 3D-пространстве.

Ключевые слова: гибридная фрактальная структура, фрактальная размерность, генератор фрактала, структурный элемент фрактала

GENERAL CHARACTERISTICS OF THE POSSIBLE GYBRIDIC MONOMODULAR FRACTAL STRUCTURES

Ivanov V.V.

South-Russian state engineering university, Novocherkassk, e-mail: valivanov11@mail.ru

The general characteristics of the possible gybridic monomodular fractal structures in 3D-space was presented.

Keywords: gybridic fractal structure, fractal dimension, generator of the fractal, structural element of the fractal

В общем случае гибридные фрактальные структуры, вложенные в единичный объем 3D пространства, могут быть образованы тремя разными генераторами. Для символического описания возможных классов мономодулярных гибридных фрактальных структур с тремя генераторами будем использовать следующие обозначения:

$$F(G_x, G_y, G_z) \{d_{sp}, (d_{Frag, yz}, d_{Frag, xz}, d_{Frag, xy}), (d_{gen, x}, d_{gen, y}, d_{gen, z})\},$$

где $F(G_x, G_y, G_z)$ – обозначение гибридного фрактала с указанием всех его генераторов, d_{sp} , $d_{Frag, yz}$, $d_{Frag, xz}$ и $d_{Frag, xy}$ – топологические размерности пространства существования фрактала и структурных фрагментов в соответствующих взаимно ортогональных 2D-подпространствах, $d_{gen, x}$, $d_{gen, y}$ и $d_{gen, z}$ – топологические размерности соответствующих генераторов. Области возможных значений: $d_{Frag, yz} (xz, xy) [0, 1, 2]$, $d_{gen, x} (y, z) [0, 1, 2]$.

Тогда в 3D-пространстве возможны следующие варианты точечных гибридных фрактальных структур с тремя разными генераторами G_x , G_y и G_z :

- 1) $F(G_x, G_y, G_z) \{3, (0, 0, 0), (0, 0, 0)\}$,
- 2) $F(G_x, G_y, G_z) \{3, (0, 0, 0), (0, 0, 1)\}$,
- 3) $F(G_x, G_y, G_z) \{3, (0, 0, 0), (0, 1, 1)\}$,
- 4) $F(G_x, G_y, G_z) \{3, (0, 0, 0), (1, 1, 1)\}$,

Формально возможные варианты линейчатых гибридных фрактальных структур с двумя генераторами, например, G_x и G_y , следующие:

- 1) $F(G_x, G_y, Z) \{3, (0, 1, 1), (0, 0, -)\}$,
- 2) $F(G_x, G_y, Z) \{3, (0, 1, 1), (0, 1, -)\}$,
- 3) $F(G_x, G_y, Z) \{3, (0, 1, 1), (1, 1, -)\}$.

Фрактальные структуры из упорядоченных по фрактальному закону фрагментов плоскости $F(G_x, Y, Z) \{3, (1, 2, 2), (0, -, -)\}$ и $F(G_x, Y, Z) \{3, (1, 2, 2), (1, -, -)\}$ не являются гибридными.

Гибридные линейчатые структуры с тремя генераторами G_x , G_y и G_z^* , где G_z^* – генератор фрактальной линии, совместимый по свойствам с генератором G_x (G_y), могут быть следующие:

- 1) $F(G_x, G_y, G_z^*) \{3, (0, 1, 1), (0, 0, 1)\}$,
- 2) $F(G_x, G_y, G_z^*) \{3, (0, 1, 1), (0, 1, 1)\}$,
- 3) $F(G_x, G_y, G_z^*) \{3, (0, 1, 1), (1, 1, 1)\}$.

Отметим, что под совместимостью линейного генератора G_z^* с одним из точечных G_x (или G_y) понимается изоморфизм его сечения плоскостью ZX (или ZY) с ним, т.е. $G_z^*|_{ZX(ZY)} \rightarrow G_{x(y)}^* \leftrightarrow G_{x(y)}$.

Гибридные структуры из фрактальных поверхностей, упорядоченных в единичном объеме 3D пространства по фрактальному закону G и совместимых с ним:

- 1) $F(G_x, G_y^*) \{3, (1, 2, 2), (0, 2)\}$,
- 2) $F(G_x, G_y^*) \{3, (1, 2, 2), (1, 2)\}$.

Условие совместимости:

$$G_{zy}^*|_{ZX(ZY)} \rightarrow G_z^* \leftrightarrow G_x.$$

В 2D-пространстве имеем следующие возможные варианты точечных гибридных фрактальных структур с двумя генераторами, например, G_x и G_y :

- 1) $F(G_x, G_y) \{2, (0, 1), (0, 0)\}$,
- 2) $F(G_x, G_y) \{2, (0, 1), (0, 1)\}$,
- 3) $F(G_x, G_y) \{2, (0, 0), (1, 1)\}$.

Возможные линейчатые гибридные фрактальные структуры в 2D-пространстве с двумя генераторами G_x и G_z^* , где G_z^* – ге-

нератор фрактальной линии, совместимый по свойствам с генератором G_x :

$$1) F(G_x, G_z^*)\{2, (0,1), (0,1)\}$$

В качестве примера возможности существования последнего варианта гибридной структуры можно привести линейчатую фрактальную структуру с генератором G_z^*

типа треугольной кривой Коха и совместимым с ним генератором G_x типа канторова множества точек (рисунок).

Между точечными структурами 2D-пространства и линейчатыми структурами 3D-пространства существуют очевидные связи:

$$Sv_Z F(G_x, G_y, Z)\{3, (0,1,1), (0,0,-)\} = F(G_x, G_y)\{2, (0,0), (0,0)\},$$

$$Sv_Z F(G_x, G_y, Z)\{3, (0,1,1), (0,1,-)\} = F(G_x, G_y)\{2, (0,0), (0,1)\},$$

$$Sv_Z F(G_x, G_y, Z)\{3, (0,1,1), (1,1,-)\} = F(G_x, G_y)\{2, (0,0), (1,1)\}.$$

Между точечными структурами 1D-пространства, линейчатыми структурами и струк-

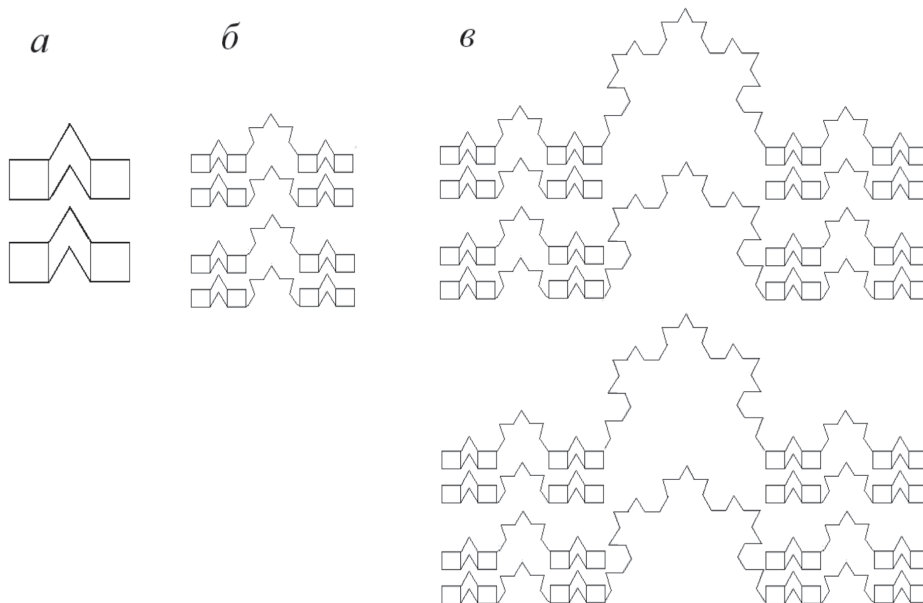
турами 3D-пространства из фрагментов поверхности также существуют очевидные связи:

$$Sv_{YZ} F(G_x, Y, Z)\{3, (1,2,2), (0,-,-)\} = F(G_x)\{1, (0), (0)\},$$

$$Sv_{YZ} F(G_x, Y, Z)\{3, (1,2,2), (1,-,-)\} = F(G_x)\{1, (0), (1)\}.$$

Определим фрактальные размерности выведенных структур через размерности их генераторов. Тогда фрактальные размерности

точечных, линейчатых структур и структур из фрагментов поверхности могут быть соответственно представлены следующим образом:



Изображения генератора гибридного линейчатого фрактала $F(G_x, G_z^)\{2, (0,1), (0,1)\}$ (а) и предфрактальных гибридных структур 2-го (б) и 3-го поколения в 2D пространстве*

$$\text{Dim } F(G_x, G_y, G_z) = \text{Dim } F_1(G_x) + \text{Dim } F_2(G_x) + \text{Dim } F_3(G_x),$$

$$\text{Dim } F(G_x, G_y, Z) = 1 + \text{Dim } F(G_x, G_y) = 1 + \text{Dim } F_1(G_x) + \text{Dim } F_2(G_x).$$

$$\text{Dim } F(G_x, Y, Z) = 2 + \text{Dim } F(G_x).$$

$$\text{Dim } F(G_x, G_y, G_z^*) = \text{Dim } F_1(G_x) + \text{Dim } F_2(G_x) + \text{Dim } F_3(G_x^*),$$

$$\text{Dim } F(G_x, G_{yz}^*) = \text{Dim } F(G_x) + \text{Dim } F(G_{yz}^*).$$

Таким образом, проанализирована возможность существования и определены размерности вероятных гибридных мономодулярных (точечных, линейчатых и из фрагментов поверхности) фрактальных структур в 3D-пространстве.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов В.В. Комбинаторное моделирование вероятных структур неорганических веществ. – Ростов-на-Дону: Изд-во СКНЦ ВШ, 2003. – 204 с.

2. Иванов В.В., Шабельская Н.П., Таланов В.М. // Совр. наукоемкие технологии, 2010. – №10. – С. 176-179.

3. Иванов В.В., Демьян В.В., Таланов В.М. // Междунар. журн. эксп. образования, 2010. – №11. – С. 153-155.

4. Иванов В.В., Таланов В.М., Гусаров В.В. // Наносистемы: Физика, Химия, Математика, 2011. – Т.2. – № 3. – С.121-134.

5. Иванов В.В., Таланов В.М. // Успехи современного естествознания. 2012. – №3. – С. 56-57.

6. Иванов В.В., Таланов В.М., Гусаров В.В. // Наносистемы: Физика, Химия, Математика. – 2012. – Т.3. № 4. – С. 82-100.

7. Иванов В.В., Таланов В.М. // Журн. структурной химии. 2013. – Т.54. – №2. – С.354-376.

УДК 620

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНИМОСТИ СИНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОДХОДА К АНАЛИЗУ СТРУКТУРЫ ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ТИПА

Игонин В.И.*ФГБОУ ВПО «Вологодский государственный технический университет», Вологда,
e-mail: igonvlad@yandex.ru*

Работа посвящена рассмотрению возможностей синергетического анализа к модельной структуризации энерготехнической системы большой энергетики.

Ключевые слова: субъект есть энергия, синергетическая концепция самоорганизации, саморегулируемый, саморазвивающийся процесс с постоянным обменом веществом энергией и информацией, энергетика-система установок и устройств для преобразования энергетических ресурсов, когенерационного типа, (т.е. когда система вырабатывает совместно электроэнергию, теплоту), неравновесные, необратимые, открытые, закрытые, диссипативные, термодинамические системы, конструирование процесса диссипации, человекомерность технической системы, первый и второй законы в интегральной диссипационной форме, закономерность поступательного саморазвития – субъект – субъект ($C \rightarrow C$), бифуркационное поле предложений, энергетический цикл преобразования энергии, сознательно конструируемые «игольчатые» потоковые составляющие, реализация бифуркационного процесса саморазвития, предложения нужной «полезности»

THE STUDY OF THE APPLICABILITY OF THE SYNERGETIC APPROACH TO THE ANALYSIS OF THE STRUCTURE OF THE ENERGY OF TECHNOLOGICAL TYPE

Igonin V.I.*Vologda State Technical University, Vologda, e-mail: igonvlad@yandex.ru*

Work is devoted to the consideration of opportunities of synergetic analysis to the model structuring of the energy of the technical system of great energy.

Keywords: the subject is the energy, the synergy concept of self-organization, self-regulated, a self-perpetuating process with a continuous exchange of substance, energy and information, energy-system installations and devices for the conversion of energy resources, cogeneration type, (i.e. when the system produces jointly electricity, heat), non-equilibrium, irreversible, open, closed, dissipative, thermodynamic systems, designing of the process of dissipation, man, the dimensionality of the technical system, the first and the second laws of the integral dissipation form, a pattern of progressive self-development – subject – subject ($S \rightarrow S$), bifurcation field of proposals, power cycle the energy conversion, consciously constructed «needle» streaming components, the implementation of bifurcation process of self-development, supply of the necessary «utility»

По определению Соколова Е.Я. [1] «Энергетикой называется система установок и устройств для преобразования первичных энергоресурсов в виды энергии, необходимые для народного хозяйства и населения, и передачи этой энергии от источников ее производства до объектов использования. Основными источниками теплоты и электроэнергии являются тепловые электрические станции....» В этом и других учебниках подробно описаны методики расчета, которые должен принять на вооружение субъект, чтобы грамотно проектировать и эксплуатировать подобные систем, так необходимые для создания комфортных условий его существования. Однако, субъект не находит в этой литературе сведений о роли и месте технических систем в его окружении, описанных с позиций синергетического знания, которое основано на системном подходе и анализе и завоевывает во всех науках все больше места из-за использования обобщенного транснаучного описания в разных по своему назначению системах [5, 6].

Рассмотрим вместе с субъектом типичную структурную схему тепловой электрической станции с выработкой теплоты. Схема известна и широко описана в литературе соответствующей специализации и направления.

С учетом вышесказанного, субъект выстраивает совокупность теплообменных, энерговырабатывающих и энергопотребляющих устройств в конструктивную структуру в соответствии со схмотехническим решением принятым для передачи энергии и массы в разные координатные узлы энергетического пространства в соответствии с реализацией того или иного полезного действия рис. 1.

Такое начало уже соответствует синергетической концепции самоорганизации, когда «объектом исследования являются открытые системы в неравновесном состоянии, характеризующиеся интенсивным потоковым, множественно дискретным обменом веществом и энергией между подсистемами и между системой с ее окружением» [6].



с необратимостью процессов теплоотдачи, теплопередачи, горения топлива, движения рабочих тел и т.д. Действительно энергия топлива ΔE_{10c} забирается из окружающей среды, а затем совершив полезный и диссипационный эффекты рассеивается в окружающую среду ΔE_{20c} . Необходимым элементом для перехода ΔE_{10c} от окружающей среды к рабочему телу является котельный агрегат. Котельный агрегат служит для выработки теплоты Q_1 [1]. Он представляет собой систему теплообменников, рис.1, одно из которых горелочное устройство. Оно является преобразователем энергии. Остальные теплообменники по ходу продуктов сгорания трансформируют теплоту – понижают или повышают температуры рабочих тел, т.е. это трансформаторы теплоты. В каждом конкретном случае выработанная теплота ΔQ последовательно за счет многократно организованной разности температур идет на изменение внутренней энергии ΔU рабочих тел. Для того чтобы субъекту получить полезную работу ΔL , требуется после генератора тепломеханической энергии (котла) поставить тепловой двигатель (в данном случае паровую турбину). Котел и турбина находятся в первом контуре рабочего тела. Они соединены трубопроводами «перегретого пара» и «питательной воды». Пар поступает в проточную часть турбины, состоящую из ротора (вал турбинной установки с насаженными на нем дисками) и статора (корпус турбины со встроенными в него дисками). Пар проходит сопловые (неподвижные) каналы и попадает в рабочие каналы (подвижные рабочие лопатки). Группы из сопловых и рабочих лопаток образуют ступень, на которой идет преобразование энергии рабочего тела в работу. Множество ступеней по ходу пара образу-

ют проточную часть турбинной установки. Пар, пройдя множество ступеней, через выходной патрубок попадает в конденсатор, где за счет охлаждения циркуляционной водой через трубчатые поверхности конденсируется с отдачей энергии «теплоты парообразования» охладителю. С помощью охладителя поток теплоты Q_2 уходит в окружающую среду. После конденсатора поставлен конденсационный насос, перекачивающий конденсат через подогреватели низкого давления (ПНД) в деаэратор, который служит для удаления агрессивных газов из воды с целью предупреждения коррозии поверхностей нагрева котельного агрегата. После деаэратора расположен питательный насос, который подает воду в экономайзер котельного агрегата через подогреватели высокого давления (ПВД). Все насосы подключены к энергии, вырабатываемой в этом цикле ее производства электрогенератором. Теплообменники системы регенерации (ПНД, ПВД) и деаэратор работают за счет отвода части пара из проточной части турбины. На всем протяжении проточной части совершается работа расширения и проталкивания теплоносителя с совершением технической работы вращения ротора турбины установленного на подшипниках и соеди-

ненного с помощью муфты с валом генератора электрической энергии. По ходу теплоносителя присутствуют расчетные потери при совершении работы L_d и U_d внутренней энергии. Т.е. тепловой и механической энергии в сопловых и рабочих лопатках, в выходном патрубке, корпусе турбины. Потери разного происхождения – потери энергии на трение, вентиляцию, проталкивание, перемещение пара в между дисковых пространствах; с утечками пара через концевые уплотнения в местах входа и выхода вала турбины из корпуса.

Последовательное рассмотрение в итерационном цикле процедуры субъект–субъект (C→C) [2] для каждого блока структурной схемы позволяет найти функцию организованного субъектом диссипационного процесса изменения энергии. Для каждого блока структуры определяются входные и выходные потоки. Организация модельного представления показана рис. 2 в виде алгоритмической обобщенной модели преобразования параметров и определения искомой функции процессов диссипации энергии. На обобщенный характер анализа указывает наличие блока с рабочим телом (РТ), горячим источником теплоты (ГИТ), холодным источником теплоты (ХИТ).



Рис. 2. Последовательность преобразования параметров структуры

Термодинамические особенности модели ГИТ→РТ→ХИТ описаны в термодинамической литературе. Для получения полезной работы необходимо организовать разность потенциалов, условно горячий и холодный источники теплоты и рабочее тело для совершения работы. Состояние системы функционально описывается термическими параметрами T – температурой, P – давлением, V – удельным объемом рабочего тела. Они функционально связаны с калорическими параметрами Y – энтальпией, S – энтропией, U – внутренней энергией рабочего тела. В свою очередь знание термических и калорических параметров позволяет получить функции потоков энергии в формах теплоты ΔQ , работы ΔL , внутренней энергии ΔU .

Изменение энергетических потоков от структуры к структуре по ходу рабочего тела говорит об изменениях мощности каждого элемента за счет организованных диссипационных процессов преобразования энергии. Мощность это работа в единицу времени, которая совершается в структуре рабочим телом. Она является обобщенным параметром и указывает на энергетическое состояние рассматриваемой структуры. Сопоставление мощностей разных структур позволяет различать их по полезному эффекту и диссипационным затратам энергии. Из условий идентификации структурной конфигурации первого контура (рис. 1) получается последовательный по ходу преобразования энергии ряд мощностей (1)

$$N_{\text{подв}}, N_{\text{к.а}}, N_{\text{перед турб}}, N_{\text{после турб}}, N_{\text{мех. перед. т.г}}, N_{\text{эл. генер}} \quad (1)$$

соответственно: подведенной в котельном агрегате $N_{\text{подв}}$, полученной в котельном агрегате $N_{\text{ка}}$, располагаемой перед турбиной $N_{\text{перед турб}}$, после турбины $N_{\text{после турб}}$, механической перед электрогенератором $N_{\text{мех.перед.т.г}}$, электрической после электрогенератора $N_{\text{эл.генер}}$.

Соотношения каждой последующей в естественном ряду мощности (меньшей) к предыдущей (большей) дает ряд абсолютных коэффициентов полезного действия или преобразования энергии (2)

$$\frac{N_{\text{ка}}}{N_{\text{подв}}} = \eta_{\text{ка}}, \frac{N_{\text{перед турб.}}}{N_{\text{ка}}} = \eta_{\text{тр}}, \frac{N_{\text{после турб.}}}{N_{\text{перед турб.}}} = \eta_{\text{oi}}, \eta_{\text{мех}} = \frac{N_{\text{мех.пере.т.г.}}}{N_{\text{после турб.}}},$$

$$\eta_{\text{эл.г}} = \frac{N_{\text{эл.генер}}}{N_{\text{мех.пере.т.г.}}}, \eta_t = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}. \quad (2)$$

Система коэффициентов характеризующих преобразования энергии из одного ее вида в другой строится на базе феноменологического знания. Это как правило апостериорная – экспериментальная часть выяснения диссипационных потерь энергии. Из литературных данных известны примерно следующие эмпирические значения коэффициентов преобразования энергии в ряду устройств от котельного агрегата до электрогенератора: $\eta_{\text{ка}} \approx$ от 70 до 92 %, $\eta_{\text{тр}} - 97\%$, $\eta_{\text{мех}} \approx 96 \div 99$, $\eta_t \approx 40-50\%$. Последний в ряду коэффициент η_t как бы выпадает из ряда (1).

Его называют термическим коэффициентом полезного действия. Он характеризует отношение тепловых потоков полезно использованных для получения работы к подведенной в цикл теплоте и напрямую зависит от конечной разности температур $T_1 - T_2$, рис. 2.

Последовательный ряд произведений всех КПД в (2) дает значение обобщенного интегрального показателя в цикле выпуска электрической энергии (3). Безразмерные сомножители в формуле (2) последовательно указывают на диссипационные потери в каждой фазе термодинамического цикла рис.3.а) непрерывного воспроизводства электрической энергии.

$$\eta_{\Sigma} = \eta_t \cdot \eta_{\text{oi}} \cdot \eta_{\text{ка}} \cdot \eta_{\text{мех}} \cdot \eta_{\text{эл.г}} \cdot \eta_{\text{тр}}. \quad (3)$$

Уравнение (3) записывается для абсолютного электрического коэффициента полезного действия электрической станции. Поскольку в систему входят и выходят потоки энергии и вещества, то система отвечает принципу открытости в полной мере и называется «открытой диссипативной энергетической системой». Субъект идентифицирует структуру как диссипативную, не нарушая принцип – «диссипативная структура – это открытая неравновесная структура, которая за счет рассеивания энергии и вещества сохраняет свою индивидуальность».

Диссипативно организованная структура рис. 1 аллопоэтического типа [6].

По определению, субъект для организации системы использует сырье и компоненты, притекающие к ней из вне, чтобы строить организованные структуры, представляющие собой нечто иное, чем она сама. Система организована в соответствии с принципами расширенной записи первого и второго начала неравновесной термодинамики [3].

Система работает устойчиво, так как в ней организованы строго запланированные субъектом диссипационные потери,

распланированные в пространстве и во времени.

Непрерывная организация процессов подвода и отвода энергии из окружающей среды дает возможность существовать циклически непрерывному воспроизводству энергии.

Модельный анализ субъектом самоорганизованной структурной сущности ведет систему к постепенному наращиванию новых уровней ее самоорганизации.

Проявление системой новых уровней самоорганизации сопровождается изменением ее внутреннего координатного и временного «пространства энергетического состояния».

Естественно, что саморегуляционные возможности создает субъект. Субъект вносит предложения по улучшению схематических решений в структуре производства электрической и тепловой энергии.

По данным [1], первым решением создания новой структуры электростанции является реорганизация тепловой схемы за счет применения регенеративного подогрева конденсата после конденсатора и питательной воды после деаэратора (рис 1), что привело к сокращению потерь от необра-

тимости процессов теплопередачи в тракте котельного агрегата.

Экономия первичной энергии в виде топлива составила от ее первоначального затратного уровня на 10-12%. На рис. 3 проиллюстрирован синергетический «игольчатый принцип» [6] подачи энергии «в нужное место

в нужное время» для перехода с одного уровня циклической самоорганизации на другой более высокий. Под более высоким уровнем самоорганизации субъект понимает «энергетический уровень» с меньшими диссипационными потерями энергии при обеспечении той же полезной ценности установки.

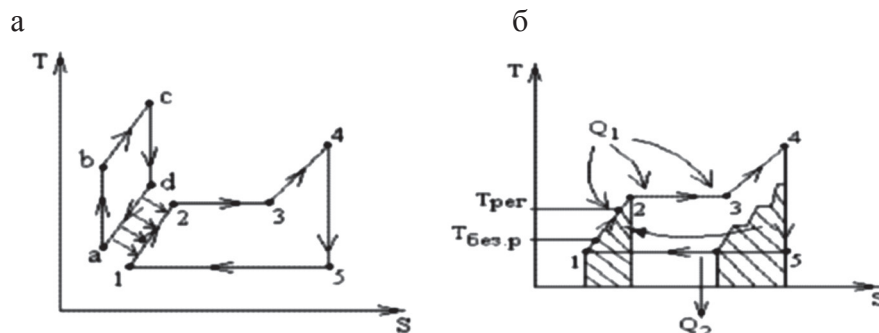


Рис. 3. Потокное саморегулирование распределения энергии в нужный узел системы: а – регенерация теплоты внутри системы; б – дополнительный цикл с утилизацией

Примерами эффективной работы структуры считаются такие ее элементы, которые меняют свойства рабочего тела. На рис. 1 показаны устройства необходимые для качественного существования установки, из них выделяются устройства деаэраторы и для химической обработки воды (контур 1). Первые, позволяют избавиться от коррозии теплообменных поверхностей нагрева, вторые, устраняют явления заноса проточной части турбин солевыми отложениями. Таким образом, в процессе саморазвития идет процесс саморегулирования с изменением порядка, параметров и свойств каждой структуры и самой структурной схемы.

Этот факт подтверждает наличие встроенных поверхностей нагрева в газоходах котла и устройств очищающих продукты сгорания с целью уменьшения экологической нагрузки на окружающую среду.

На общем фоне количественного роста производимых моделей бифуркационное поле предложений непрерывно увеличивает процесс развития рынка. Структурная схема расширяется с наращиванием новых блоков с одновременным увеличением долговечности работы.

Иначе говоря, продолжается самоорганизованный синергетический поступательный цикл развития технической системы.

Улучшаются полезные свойства модели. Например введение вторичного перегрева паровой фазы рабочего тела не только повышает возможный уровень температуры верхнего источника Т1 и термический КПД цикла, но и увеличивает срок службы турбинной установки из-за уменьшения влаж-

ности в конце адиабатного расширения пара в проточной части.

Меняется «потенциал полезности» структур за счет разнообразия сферы применения. Субъект вводит второй контур теплоносителя для производства тепловой формы энергии рис. 1.

В схеме появляются модернизированные турбоагрегаты с одновременным производством электрической и тепловой форм энергии.

Реорганизация подобного типа удовлетворяет постоянно растущие потребности в теплоте самого субъекта.

Одновременное производство двух форм энергии имеет определенный экономический смысл, появление которого неизбежно снижает диссипационную составляющую энергетических затрат в системе источник энергии – потребитель. В конденсационном цикле (без контура два) около 50 % теплоты, сообщенной пару в паровом котле (ГИТ) передается в конденсаторе (ХИТ) и бесполезно уносится с охлаждающей циркуляционной водой при $t = 15-30^\circ\text{C}$ (рис. 1,3). Чтобы каким-то образом использовать теплоту, теряемую в конденсаторе субъект полагает использовать ее в системах теплоснабжения зданий и сооружений с организацией дополнительной структуры в виде «теплогидроцикла» (контур 2), в котором осуществляется нагрев воды идущей из системы теплоснабжения в конденсаторе или в сетевых подогревателях за счет отборов из проточной части турбины, рис. 1. Нагрев ведется до температур нужных для систем теплоснабжения, отопления, горячего водо-

снабжения и вентиляции от 80 до 100°C. Задача использования конденсатора решается параметрически с помощью увеличения давления в конденсаторе до 0,077-0,1 МПа. В этом случае говорят, что установка работает с ухудшенным вакуумом или противодавлением.

Отбор пара из проточной части турбины для разных целей всегда связан с эффектом эквивалентно недополученной электроэнергии. Если энергия отбирается для целей теплоснабжения или на производство энерготехнологического типа, то общее количество полезно использованной первичной энергии считается не напрасно затраченным, хотя расход топлива с увеличением потребляемой мощности в общем случае повышается. В идеальном случае, когда вся теплота топлива используется полезно коэффициент полезного использования топлива приближается к 100%. В реальных условиях с учетом всех необходимых диссипационных затрат коэффициент использования достигает 60-80%.

Борьба субъекта за уменьшение диссипационной составляющей ведется также за счет снижения внутренних необратимых потерь, которые технически связаны конструктивными особенностями схемы производства электроэнергии. Неоправданно большая разность температур заложена в теплообменных устройствах обеспечивающих передачу теплоты от продуктов сгорания к рабочему телу. Системный анализ проблемы позволяет субъекту частично

ее решить, путем организации структурной надстройки в виде парогазового цикла рис.3,б, что существенно увеличивает эффективность использования теплоты Q_1 . Эффективность достигается путем добавления в схему паросилового цикла блока газотурбинной установки. Цикл газотурбинной установки пристраивается в зоне более высоких температур над циклом Ренкина для перегретого пара, рис.3,а. Цикл надстройки $a-b-c-d-a$ субъект располагает над циклом 1-2-3-4-5-1, что приводит к более эффективному использованию температурного напора между продуктами сгорания и нагреваемым рабочим телом. В комбинированной таким образом структуре получается новое качество за счет уменьшения потерь с необратимыми процессами теплопередачи при трансформации энергии в виде теплоты из одного цикла в другой. Сокращение диссипационных потерь приводит к уменьшению расхода первичной энергии топлива до 15% в сравнении с нереконструируемой системой той же мощности.

Субъект ведет поиск сокращения потерь диссипационной энергии на уровне повышения калорийности сжигаемого топлива и длительного его использования. Например, разработка станций на атомном топливе. Структура такой системы несколько меняется. Хотя закономерности построения цикла получения энергии сохраняются. Термический КПД цикла АЭС зависит от начальных и конечных параметров пара, рис. 4.



Рис. 4. Появление дополнительной структурной связи для экологической безопасности

На рис. 4 показан организованный субъектом дополнительный контур безопасности с промежуточным рабочим телом, организующий транзит теплоты от тепловыделяющей зоны атомного реактора. Действующий КПД современных АЭС колеблется от 17 до 36% за счет маленькой величины термического КПД.

Парогенераторы атомных электростанций это прямоточные котлы, нагревающие воду в теплообменнике от теплоносителя первичного контура, проходящего через

активную зону атомного реактора. В раздельном теплообменнике происходит нагрев второго рабочего тела, которое работает в турбине. Это обстоятельство снижает термодинамическую эффективность АЭС. Плюсами цикла АЭС является возможность регулирования тепловой мощности реактора за счет изменения степени погружения в активную зону тепловыделяющих элементов и таким образом осуществлять ведение требуемого режима тепловыделения в реакторе в широком диапазоне изменения

мощности. Относительно небольшая величина топливной составляющей в себестоимости выработанной энергии удовлетворяет субъекта в случае дефицита топлива. Она составляет величину в 15-40 % вместо 50-60 % на обычных ТЭЦ.

Выводы и результаты работы. Работа посвящена анализу возможностей структуризации модели энерготехнической системы на микро, макро и мета иерархических уровнях ее модельного представления [4] с помощью диссипационной интегральной формулировки первого и второго законов термодинамики [3] с использованием терминологии технического [1] и синергетического знаний [5, 6].

Проведен потоково-параметрический структурный анализ состояния «технической» системы методами синергетики и неравновесной термодинамики.

Результаты анализа показали, что использование основ синергетического знания становится методически оправданным после принятия формулировки о том, что «техническая система» и «человек как система» – есть формы существования энергии.

За этим фактом следует признание субъектом «человекомерности» технической системы в результате осознания энергетического единства движущегося в своем поступательном развитии «субъекта» и технической системы, которую он создает.

Только в этом аспекте процесс движения отмечен терминами самоорганизации, саморегулирования, саморазвития с обязательной организацией условий постоянного обмена энергией веществом и информацией в синергетически открытой системе.

Техническая энергетика как система установок когенерационного или тригенерационного типов в своем развитии проходит этапы поступательного осознанного конструирования процессов диссипации энергии с учетом неравновесности, необратимости открытых структур принятых для моделирования существующего многообразия реальностей в бифуркационном поле непрерывно встречающихся предло-

жений полезного использования энергии для циклических условий существования «субъекта» в рамках итерационных формул «субъект – объект» ($C \rightarrow O$) с последующей трансляцией их в формулы «субъект-субъект» ($C \rightarrow C$) [2].

На ряде примеров модельной структуризации с последующей модернизацией тепломеханических структурных схем существующих для выработки теплоты, электроэнергии, показано, что непрерывно во времени идут количественно-качественные процессы идентификации, саморегулирования, саморазвития указанных выше систем в рамках проектируемых субъектом этапов самоорганизации.

Самоорганизация субъективной энерготехнической системы идет в направлении энерготехнического совершенства пространства ее энергетического состояния.

Энергетически совершенное пространство состояния энерготехнической системы подразумевает организацию субъектом минимально допустимых диссипационных потерь, удерживающих процессы воспроизводства энергии в технических системах в формах теплоты и работы для получения максимального полезного действия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соколов, Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: учебник для вузов. – М.: Изд-во МЭИ, 2001. – 472 с.
2. Игонин В.И. Особенности системной идентификации человекомерной модели функционирования технической энергосистемы. Журнал «Современные наукоёмкие технологии». Технические науки. – №1. – 2013. – С. 22-26.
3. Игонин, В.И. Об очевидности проявления свойств интегральности при системном термодинамическом анализе энергетической установки / В.И. Игонин // Вестник Череповецкого государственного университета. – №1(45) – 2013. – С. 12-14.
4. Игонин, В.И. Особенности энтропийной идентификации неравновесной синергетической системы / Д.В.Титов, В.И. Игонин // Вестник МАНЭБ. – №4 (17). – 2012 – С. 59-65.
5. Степин, В.С. Синергетика и системный анализ. В кн. Синергетическая парадигма. Когнитивно-коммуникативные стратегии современного научного познания. М.: Прогресс-Традиция, 2004. – 560 с. – С. 58-78.
6. Князева Е.В., Курдюмов С.П. Основания синергетики: Синергетическое мировидение. Изд. 3-е, доп. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2010. – 256 с. (Синергетика от прошлого к будущему).

УДК 620

МОДЕЛЬНАЯ СТРУКТУРИЗАЦИЯ И СИНЕРГЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЭНЕРГОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Игонин В.И.

ФГБОУ ВПО «Вологодский государственный технический университет»,
Вологда, e-mail: igonvlad@yandex.ru

Работа посвящена макроуровневому анализу [13] применимости диссипационной и интегральной формулировки второго закона термодинамики к модельной структуризации энерготехнической системы с использованием терминологии технического и синергетического знания.

Ключевые слова: субъект есть энергия, синергетическая концепция самоорганизации, саморегулируемый, саморазвивающийся процесс с постоянным обменом веществом энергией и информацией, энергетика-система установок и устройств для преобразования энергетических ресурсов, когенерационного типа, тригенерационного типа (т.е. когда система вырабатывает совместно электроэнергию, теплоту и холод), неравновесные, необратимые, открытые, закрытые, диссипативные, термодинамические системы, конструирование процесса диссипации, человекомерность технической системы, первый и второй законы в интегральной диссипационной форме, закономерность поступательного саморазвития – субъект – субъект (C→C), бифуркационное поле предложений, энергетический цикл преобразования энергии, сознательно конструируемые потоковые слагаемые уравнения (1), реализация бифуркационного процесса развития, предложения нужной «полезности», потоковый анализ моделей электрической, тепловой, механической форм энергии и холода, общность и различие в организации циклов для получения нужных форм энергии

MODEL STRUCTURING AND SYNERGETIC ANALYSIS ENERGO TECHNICAL SYSTEM

Igonin V.I.

Vologda State Technical University, Vologda, e-mail: igonvlad@yandex.ru

Work is devoted to the macro concentration analysis [13] the applicability of the dissipation and the integral formulation of the second law of thermodynamics to the model structuring of the energy of the technical system with the use of the terminology of the technical and synergy of knowledge.

Keyword: the subject is the energy, the synergy concept of self-organization, self-regulated, a self-perpetuating process with a continuous exchange of substance, energy and information, energy-system installations and devices for the conversion of energy resources, to generate the type, three generations of type (i.e., when the system produces jointly electricity, heat and cold), non-equilibrium, irreversible, open, closed, dissipative, thermodynamic systems, designing of the process of dissipation, the human technical systems, the first and the second laws of the integral dissipation form, a pattern of progressive self-development – subject – subject (S→S), bifurcation field of proposals, the energy cycle energy conversion, consciously constructed streaming components of equation (1), the bifurcation of the development process, the proposals of the necessary «usefulness» stream analysis of models of electrical, thermal, mechanical forms of energy and cold, the commonality and differences in the organization of cycles to obtain necessary forms of energy

Приведем некоторые определения синергетического и технического толкования, которые указывают на разные модельные представления, касающиеся структуризации энерготехнической системы и используются для формирования идеи представленной работы.

Г.Б. Гутнер. – «Субъект существует только в деле., т.е. субъект есть энергия». [1].

Е.В. Князева, С.П. Курдюмов. – «В синергетической концепции самоорганизации объектом исследования являются открытые системы в неравновесном состоянии, характеризующиеся интенсивным потоковым, множественно дискретным обменом веществом и энергией... Вещь (система) предстает как саморегулирующий процесс с постоянным обменом веществом энергией и информацией с внешней средой и самими подсистемами. В результате происходит смена одного инварианта другим – саморегуляция и саморазвитие. Нарастание системой новых уровней организации сопровождается изменением ее внутреннего пространства

состояния во времени, что позволяет расширить горизонты существования... [2].

По определению Соколова Е.Я. [3] «Энергетикой называется система установок и устройств для преобразования первичных энергоресурсов в виды энергии, необходимые для народного хозяйства и населения, и передачи этой энергии от источников ее производства до объектов использования. Основными источниками теплоты и электроэнергии являются тепловые электрические станции...»

Чистович С.А. – « в настоящее время принято говорить об энергетических системах когенерационного типа, а так же тригенерационного типа (т.е. когда система вырабатывает совместно электроэнергию, теплоту и холод)». [4].

Выделим общие закономерности и отличительные особенности моделирования энергообмена в технической энергетической системе, используя позиции технического и синергетического анализа.

Пусть субъект создает для своей деятельности организованные технологические производства, к которым относятся все технические системы, выпускающие товары, технические устройства, пищевые продукты, создающие условия для климатизации и облегчающие труд субъекта с помощью превращения взятых каким-либо способом из окружающей среды разнообразных видов энергии в нужную для него полезную работу, теплоту, холод.

Для анализа он использует одну из наиболее продвинутых, в смысле создания обобщенного описания динамики энергообмена науку о неравновесных термодинамических системах. С позиций неравновесной термодинамики все процессы, в теплоэнергетических системах неравновесны и необратимы [7]. Эти же позиции отстаивает синергетическое направление в философии [8, 9, 12]. Достаточно много литературы в последние 40 лет указывает на то, что при моделировании энергетических объектов нужно говорить об объекте, как о «системе», т.е. применять при его описании системный анализ или системный подход. В работах [5, 6] рассмотрены особенности системной идентификации человекомерной модели функционирования технической энергосистемы. Человекомерность обосновывается взаимным влиянием технической и субъективной подсистем друг на друга. Две системы связаны между собой и окружающей средой итерационным циклом развития и управления. Абстрактно это два множества, которые связаны между собой потоками энергии, массы и информации.

Первое множество системы это техническая энергосистема. Ее функции определены производством, распределением, потреблением энергии и распространяются на все сферы деятельности субъекта, связанные с сельским хозяйством, бытовым потреблением, транспортом и т.д. Субъект забирает потоки энергии и массы из окружающей среды и выбрасывает их после использования в окружающую среду. Второе множество это система – субъективного плана связанная с его сознанием. Для субъекта характерно присутствие социального фактора выражающегося через законы общества, экологии, термодинамики и т.д. Множество «субъект» воздействует на множество «техника». Оба связаны с окружающей средой. Под воздействием взаимно переменных информации меняются психосоматические параметры субъекта, термодинамические параметры технической системы и окружающей среды. Реализация субъектом такой модели на практике требует осознания возможности приближения современных

реалий энергетической картины, в которых существующий социум как саморазвивающаяся система функционировал бы с пониманием кризисных явлений. В настоящее время все более заметны явления в окружающей среде, которые указывают на присутствие на земле экологического кризиса. По мнению части ученых это происходит из за неуправляемой антропогенной нагрузки на окружающую природу (внешнюю среду). Те же причины лежат в появлении мирового экономического кризиса. Для эффективной борьбы с кризисными явлениями требуется понимание связей между субъективным сознанием и организованной сознанием энергосистемой. С позиций синергетики теплоэнергетические системы классифицируются термодинамическими блоками закрытого или открытого типов, между которыми существуют связи через потоки энергии, массы и информации. Если в системе отсутствуют связи через потоки массы, ее называют закрытой. Если же присутствуют связи через потоки энергии и массы, то система будет открытой.

Все технически организованные системы являются диссипативными и работают эффективно в том случае, если мы планируем диссипационные потери. Они построены таким образом, что без сознательного сконструированного процесса диссипации техническая система существовать не может, так как диссипационные потери позволяют удерживать преобразуемую энергию в заданном конструктивном (проектируемом) энергетическом устройстве [13]. В последнее время методология неравновесной термодинамики претендует на роль междисциплинарной науки. Однако модели технических энергетических систем в большинстве своем не учитывают закономерные особенности процессов самоорганизации и саморазвития. Это становится возможным после того, как в модельную реальность вводится понятие человекомерности энергетической системы с признанием формулы построения основных функциональных закономерностей в виде последовательного действия «субъект один» – «субъект два» и т.д... [6, 9]. Признание такого подхода позволяет взять за основу в субъективной части модели междисциплинарную методологию, которая построена на общих системных законах развития, управления и опирается на новые методические концепции наследственности, видоизменчивости, нестационарности, нелинейности присущие неравновесной термодинамике, синергетике и т.д.

Рассматривая термодинамические особенности функционирования диссипатив-

ных энергетических систем под призмой моделей неравновесного энергообмена субъект пытается понять, как происходит обмен энергии в диссипативной системе. В работах [5, 10] упоминается об очевидности проявления свойств интегральности, при совместном использовании первого и второго закона при анализе диссипативных систем. Этот факт субъект обосновывает на следующем допущении, что если энергия взята из окружающей среды, то она, как правило, превращается в теплоту, которая рассеивается затем в окружающую среду. Таким образом, взятая для использования в той или иной форме энергия переходит в теплоту и рассеивается в окружающую среду (1):

$$E_{oc} \Rightarrow \Delta Q. \quad (1)$$

Чтобы получить полезный эффект субъект должен иметь «рабочее тело» с помощью которого организовывается возможность удержания энергии в пространстве и во времени с созданием разности тепловых потенциалов, которые используются для совершения полезного для субъекта действия. Организованная нужным для субъекта образом энергия в форме теплоты идет на изменение внутренней энергии рабочего тела, на совершение с помощью рабочего тела работы и на необходимые для процесса структурной организации диссипативные потери (2), [5, 13]

$$\Delta Q \Rightarrow \Delta U + \Delta L + \Delta U_d + \Delta L_d \Rightarrow E_{oc}. \quad (2)$$

Из (1) и (2) следует, что вся выделенная субъектом энергия неорганизованная или организованная для ее полезного использования уходит в окружающую среду. Необходимое условие организации – наличие

рабочего тела и создание управляемой временной и пространственной конечной разности энергетического потенциала.

Поскольку уровень теплового энергетического потенциала зависит от «степени нагретости» рабочего тела, т.е. от какой-то взятой за точку отсчета температуры, то говорят о температурах T_1 и T_2 – которые условно отражают уровни энергетического теплового потенциала (1) в виде «горячего» и «холодного» источников теплоты, рис. 1. Разность температур указывает на тот энергетический потенциал технической энергетической системы, который формирует субъект для удовлетворения своих полезных целей. Цели определяются итерационным характером реализации закономерностей субъект – объект (C→O) с последующей трансляцией в закономерность вида субъект – субъект (C→C). Рефлексивно меняются структуры объекта и свойства среды. Субъект воздействует на среду, осознает ее влияние и меняет ее и себя. Такой уровень субъективности соответствует процессу поступательного саморазвития системы в рамках формулы (C→C).

Условие наличия конечной разности тепловых потенциалов, а значит разностей термических параметров (температур, давлений, удельных объемов) подразумевает организацию, двух источников теплоты с разными температурами, каждый из которых можно назвать приемником или источником энергии. Иллюстрацией этого факта и возможностей выбора саморазвивающимся субъектом разных по потребительским свойствам энерготехнических моделей в бифуркационном поле предложений служат следующие рассуждения о модели двух источников, рис. 1.

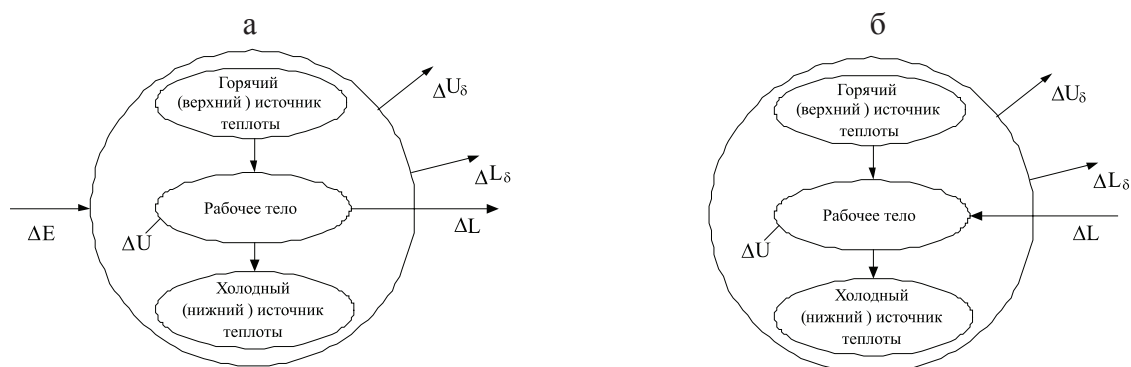


Рис. 1. Комбинации потоков теплоты и работы для организации разных функций системы: а – получение внешней работы и теплоты ХИ за счет теплоты ГИ; б – получение теплоты ГИ за счет внешней работы и теплоты ХИ

В первой модели рис. 1,а) энергия подводится для создания потенциала горячего источника (Г.И.) с последовательным отводом энергии от рабочего тела (РТ) в форме полезной работы, а затем и теплоты с созданием холодного источника (ХИ).

Во второй модели рис. 2,б) те же потоки организованы по другому. Организация заключается в последовательном подводе

энергии в виде теплоты к ХИ, а затем к РТ в эквивалентной форме в виде внешней работы, что создает ГИ с отводом теплоты в окружающую среду.

В последнем случае тоже формируется потенциал горячего источника, но теплота, подводимая к холодному и горячему источникам, полезно используется в зависимости от задач, которые решает субъект, рис. 2.



Рис. 2. Обобщенная структура модели преобразования энергии

На рис. 2 показаны необходимые блоки или узлы упрощенной структурной модели энерготехнической системы для реализации балансовых превращений энергии (1), (2) и представлений $ГИ \leftrightarrow РТ \leftrightarrow ХИ$ (рис. 1).

Из окружающей среды субъект забирает химическую энергию топлива и в источнике энергии превращает ее в теплоту. Для реализации этого процесса требуется теплообменное устройство, в котором организуется подвод теплоты к рабочему телу. Рабочее тело или теплоноситель получает комбинации энергии в формах теплоты и работы с соответствующими потерями энергии. Для условий существования субъекта принцип получения полезной работы осуществляется в тепловых двигателях (паровые, газовые турбины, двигатели внутреннего сгорания) с выходом электрической, механической, тепловой энергии для систем создания микроклимата (котельные установки, тепловые насосы, системы отопления, холодоснабжения и т.д.) Все устройства, встречающиеся на пути движения теплоносителя, представляют собой теплообменники различных типов. Теплообменники в каче-

стве трансформаторов теплоты формируют горячий и холодный источники теплоты. Минув их, рабочее тело поступает в окружающую среду. Далее энергетический цикл преобразования энергии повторяется.

В результате субъект осознает, что в циклически организованных (по рабочему телу) в высоко или низко потенциальных системах выработка и потребление энергии идет при сознательно конструируемых диссипационных (ΔU_d , ΔL_d) составляющих энергетического процесса. Только при таких условиях возможна качественная организация и получение полезных для субъекта различных форм энергии - механической, электрической, холода или теплоты.

Дополняя схему рис. 2 следует отметить, что теплоноситель перемещается от одного теплообменного устройства к другому за счет насосов, компрессоров, вентиляторов потребляющих различные формы энергии. С учетом вышесказанного, субъект выстраивает совокупность теплообменных, энерговырабатывающих и энергопотребляющих устройств в ту или иную конструктивную структуру в соответствии со схе-

мотехническим решением принятым для передачи энергии и массы в разные координатные узлы энергетического пространства для реализации того или иного полезного действия.

Несмотря на разные потребительские свойства моделей, и потоковую картину входных и выходных параметров, имеется определенная общность представлений о процессах, которые идут в энерготехнических объектах.

Для моделей рис. 1 общность состоит в том, что входным параметром для организации разности потенциалов является подводимая к рабочему телу энергия. Это действие меняет запас внутренней энергии, что используется для совершения полезного эффекта. Для создания горячего и холодного источников субъект подбирает рабочее тело с заранее прогнозируемыми свойствами. Свойства рабочего тела требуют баланса количественно прогнозируемых потоков энергии. Холодный и горячий источники теплоты создаются искусственно путем комбинаций разных потоковых форм энергии, поочередно подводимых или отводимых с рабочим телом. Полезными для субъекта могут быть как потоки энергии в виде теплоты, так и в виде работы.

Общими факторами для обеих моделей является фактор создания горячего источника с отводом теплоты от него для создания полезного эффекта и фактор организации процессов испарения и конденсации рабочего тела. Иначе говоря, рабочее тело последовательно испытывает, под действием указанных выше комбинаций подвода энергии, переходы из однофазного в двухфазное состояния, и наоборот.

Таким образом, на этом этапе построения модели субъект ставит задачу по организации горячего и холодного источников теплоты, потребительские свойства которой зависят от уровня энергетических потенциалов. Уровень потенциала подразумевает существование свойств рабочего тела энергетической системы в требуемых диапазонах отрицательных или положительных температур. В разных диапазонах температур работают установки для производства потоков энергии в виде электричества, холода, теплоты (рис. 3).

Здесь показаны три циклические энергосистемы как последствия реализации бифуркационного мышления. Субъект сталкивается с необходимостью отображения цикличности, т.е. бесконечной повторяемости некоторой последовательности термодинамических процессов, которые указывают на факт требуемой организации производства энергии. Процессы цикличес-

ности поддерживаются до тех пор, пока осуществляется та или иная технология нужная субъекту. На рис.3,а, 3,б показаны цикл Ренкина и циклы для установок холодильной техники и теплового насоса. Все они сформированы для рабочих тел циклически преходящих из жидкого состояния в газообразное и обратно. В настоящее время модель цикла Ренкина является основной для анализа реальных процессов получения электрической и тепловой энергии на тепловых электрических станциях, рис.3а. В координатах температура – энтропия (TS) он представлен последовательностью идеальных процессов 1-2,2-3,3-4,4-5,5-1. Теплота Q_1 полученная в источнике энергии после совершения процессов 1-4 имеет высокие потенциалы (T_1, P_1). Теплота отведенная из цикла в окружающую среду имеет потенциалы (T_2, P_2). Разность потенциалов положительна, рис.1,а. За счет нее получается механическая работа ΔL в паровой турбине рис. 2. Механическая энергия в электрогенераторе превращается электрическую и уходит в окружающую среду. Процесс 4-6 реальный. Разница энергий в процессах 4-5 и 4-6 формирует величину слагаемого ΔL_d в уравнении (2).

Для получения холода в процессе 4-1 рис. 3,б следует подвести к специфическому рабочему телу теплоту Q_2 . В результате субъект имеет возможность получить низкие температуры T_2 рабочего тела, рис.1,а. Теплоноситель переходит в газообразное состояние и создает холодильный эффект. Чтобы вернуть его жидкое состояние требуется с помощью компрессора его сжать с выделением теплоты и нагревом рабочего тела до температуры T_1 горячего источника рис. 1,б. В процессе 2-3 осуществляется конденсация с выделением теплоты Q_1 в окружающую среду. В цикле организована низкотемпературная разность между температурой холодного объекта и окружающей средой.

Вариант использования этого же цикла для получения более высокой разности температур организован в трансформаторе теплоты – тепловом насосе рис. 3,б. Температурная разность находится в зоне положительных температур рабочего тела. Холодный источник организуется в процессе 4-1, но он будет при температуре окружающей среды.

Выводы и результаты работы

Циклический процесс продолжается до тех пор, пока будет подводиться внешняя энергия для формирования горячего источника теплоты, иначе по выражению [2] «второй закон все разровняет, прощай самоорганизация».

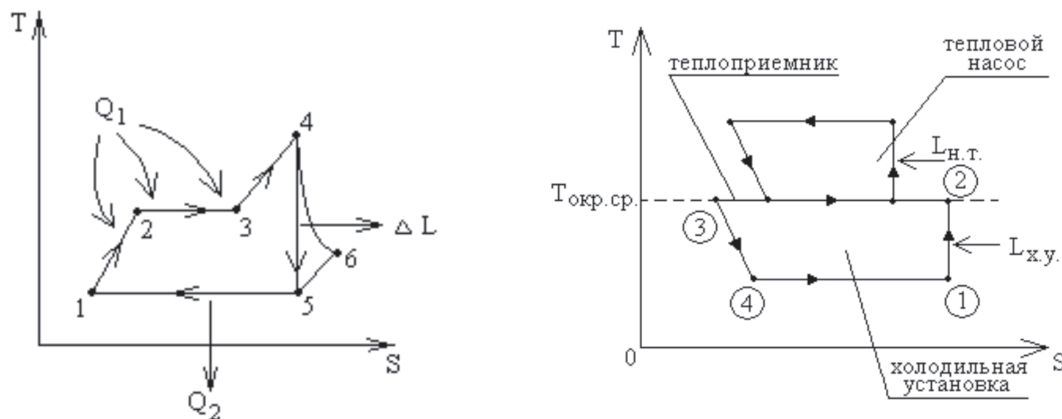


Рис. 3. К выбору модели циклического воспроизводства энергии:
а – цикл с получением работы; б – циклы с использованием работы

Работа посвящена макроуровневому анализу [13] применимости диссипационной и интегральной формулировки второго закона термодинамики к модельной структуризации энерготехнической системы с использованием терминологий технического и синергетического знания. Потокно-параметрический анализ показал, что использование основной синергетической терминологии оправдано, тем, что техническая система и система – «человек» есть формы существования энергии. Признание человекомерности технической системы, это результат осознания энергетического единства движущегося в своем поступательном развитии «субъекта». Только в этом аспекте процесс движения отмечен терминами самоорганизации, саморегулирования, саморазвития с обязательной организацией условий постоянного обмена энергией веществом и информацией. Техническая энергетика как система установок когенерационного или тригенерационного типов в своем развитии проходит этап поступательного осознанного конструирования процессов диссипации энергии с учетом неравновесности, необратимости открытых структур принятых для моделирования существующего многообразия реальности в бифуркационном поле непрерывно встречающихся предложений полезного использования энергии для циклических условий существования «субъекта» в рамках итерационных формул субъект – объект ($C \rightarrow O$) с последующей трансляцией их в формулу субъект-субъект ($C \rightarrow C$).

Заключение

«Технари» говорят и пишут о моделях технических систем. Философы о моделях с субъективным началом. Синергетики пытаются эти две модели объединить, но указывают на преобладание все-таки субъективного роста технических систем с ограничениями на «условия собственной жизни» его субъекта и природы, которая его окружает. «Технари» решают технические задачи, где надо все рассчитать, а затем создать модель, которая не похожа на субъекта, но выполняет часть его функций с большей полезностью, чем это может сделать сам субъект. Большинство моделей (процессов) линеаризуется, но вводятся опытные коэффициенты для того, чтобы обезопасить себя от явлений проявления нелинейности в «режиме обострения», что в большинстве случаев удается, так как коэффициенты выбираются с запасом. Явления, которые имеют большие масштабы – жизнь социума на земле, торговля, денежное обращение, атмосферные процессы – находятся дальше от состояния изученности ввиду своей масштабности и поэтому их можно отнести к системам находящимся в положении «дальнего равновесия» и свойства «линейности» здесь наблюдается все меньше.

Энергии в связи с развитием техники и ростом обустроенности жизни надо все больше, поэтому создаются центры ее концентрации и воспроизводства для использования в мирных или не мирных целях. Появляются, не предсказуемые кризисные явления военного, экономического, экологического,

гического характера. Они связаны между собой понятием «субъект» и требуют разработки моделей именно синергетического направления, которое учитывают состояния бифуркационного общего пути развития систем, где энергию надо подвести в тех локальных точках пространства и времени, там, где это мероприятие востребовано. Для этого надо просчитывать поля бифуркационных предложений и вариантов. Как их рассчитывать, и что считать на это должны указывать обобщенные показатели по некоторым основным блокам входящим в иерархическую систему моделей того или иного приближения к существующей реальности. Видимо следует считать, что технические системы это системы аллопоэтического типа, но если признавать человекомерность технической системы в рамках ее саморазвития и целостной самоорганизации, то следует признавать все-таки путь автопоэтического развития. Не может быть самоорганизации технической системы без участия субъекта, значит следует признать вблизи «равновесного состояния» процессы саморазвития по схеме $C \rightarrow C$, а вдали – это вселенная или внеземная цивилизация – субъективное влияние внешнего «божества».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гутнер, Г.Б. Субъект как энергия. Синергетическая парадигма. Когнитивно-коммуникативные стратегии современного научного познания. – М.: Прогресс-Традиция, 2004. – 560 с. – С. 490-502.
2. Князева Е.В., Курдюмов С.П. Основания синергетики: Синергетическое мировидение. Изд.3-е, доп. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2010. – 256 с. (Синергетика от прошлого к будущему).
3. Соколов, Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: учебник для вузов. – М.: Изд-во МЭИ, 2001. – 472 с.
4. Чистович, С.А. Технологические системы теплофикации, теплоснабжения и отопления // Научно-технический журнал АВОК Северо-запад. – №7. – 2007. – С. 10-18.
5. Игонин, В.И. Проявления свойств интегральности при системном термодинамическом анализе энергетической установки // Международный научно-исследовательский журнал. Ч. 1. 5(5). – 2012. Research Journal of International Studies, ISSN 2303-9868/ <http://research-journal.org>, технические науки. – С. 93-94.
6. Игонин В.И. Особенности системной идентификации человекомерной модели функционирования технической энергосистемы. // Современные наукоемкие технологии. – №1. – 2013. – С. 22-26.
7. Пригожин, И. Введение в термодинамику необратимых процессов. – М., 1960.
8. Степин, В.С. Синергетика и системный анализ // в кн. Синергетическая парадигма. Когнитивно-коммуникативные стратегии современного научного познания. – М.: Прогресс-Традиция, 2004. – 560 с. – С. 58-78.
9. Лебедев С.А. Философия науки: Программа общего курса кандидатского минимума для аспирантов и соискателей. – М.: МАКС Пресс, 2003, – 32с.
10. Игонин, В.И. Основы автоматизации и идентификации энтропийной модели на примере открытой неравновесной синергетической системы / Д.В. Титов, А.С. Пешков, В.И. Игонин // Информационные технологии в проектировании и производстве. – М.: ФГУП «ВИМИ», 2011. – №4. – С. 50-57.
11. Игонин, В.И. Особенности энтропийной идентификации неравновесной синергетической системы / Д.В. Титов, В.И. Игонин // Вестник МАНЭБ. – №4 (17). – 2012. – С. 59-65.
12. Олемской А.И. Синергетика сложных систем: Феноменология и статистическая теория / предисл. Г.Г. Малинецкого. – М.: КРАСАНД, 2009. – 384 с. (Синергетика от прошлого к будущему).
13. Игонин, В.И. Пути повышения эффективности теплоэнергетических систем: Монография / В.И. Игонин. – Вологда: ВоГТУ, 2007. – 119 с.

УДК 620

ОЦЕНКА ОБОБЩЕННОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ НЕСКОЛЬКИХ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Игонин В.И., Белянский Д.А.*ФГБОУ ВПО «Вологодский государственный технический университет»,
Вологда, e-mail: igonvlad@yandex.ru*

В настоящее время, в связи с успехами в изучении и построении инновационных теплоэнергетических объектов, в которых идет множество интенсивных энергопреобразований, возросли требования к моделированию их энергетического состояния. Модель должна отражать возможности комплексного энергетического воздействия на исследуемые структуры источниками разнотипного преобразования энергии [1].

Ключевые слова: энтропийный нелинейный функционал, критериальные формулы дробной размерности. Единый обобщенный энергетический показатель для двух структур

ASSESSMENT OF THE GENERALIZED ENERGY STATE OF SEVERAL OF HEAT ENGINEERING SYSTEMS

Igonin V.I., Belanckij D.A.*Vologda State Technical University, Vologda, e-mail: igonvlad@yandex.ru*

At the present time, in connection with the successes in studying and building Innova-operating heat and power facilities, in which there are a multitude of intensive энергопреобразований, increased requirements to the modeling of their energy state. The model should reflect the possibilities of complex energy effects on the studied structure of the sources of various energy conversion [1].

Keywords: Entropy non-linear functional criteria formula fractional dimension. Unified generalized energy indicator for the two structures

Опробована методика функционального моделирования энергетического пространства состояния многоструктурного объекта. Состояние объекта оценивается с помощью обобщенного интегрального параметра. Обобщенный параметр получен на основе идентификации априорных и экспериментальных данных на лабораторно-вычислительном комплексе.

Получены новые экспериментальные зависимости, связывающие обобщенный интегральный показатель с потоками, силами и свойствами разных по назначению структур.

По своей значимости результаты аналогичны решению комплекса дифференциальных нелинейных уравнений высокого порядка. Искомые решения получены в алгебраическом виде. Что затруднительно сделать даже при наличии мощных ЭВМ.

Экспериментальные выходные параметры в виде безразмерных удельных потоков энергии связаны с термодинамическими, геометрическими, временными параметрами систем.

Функции коэффициентов неравновесности позволяют сравнивать затраты энергии для каждой структуры и выбирать их оптимальные значения.

Выходные траектории функционала нелинейны, что указывает на свойства неравновесности и необратимости исследуемых процессов.

Процедуры получения выходных траекторий итерационные и открыты для варьи-

рования из условий минимума отклонения удельной энергии от нормированных значений.

Энергетическое пространство состояния разнородной структуры удовлетворяет условиям однозначности и целевой функции полезности сформулированных крайних энергетических задач.

Результаты натурного и численного экспериментов косвенным путем сопоставлены с данными других исследований.

Предлагаемая методика функционального моделирования состояния структуры увеличивает скорость восприятия материала и поэтому применима в междисциплинарных исследованиях, в том числе для обучения.

Методика создана на основе методов системного анализа, неравновесной, феноменологической термодинамики, синергетики численного и натурного экспериментов.

Энтропия как калорический параметр широко используется для описания теплоэнергетических процессов. Основоположающими в этом отношении являются работы М.П. Вукаловича, И.И. Новикова, А.И. Андрущенко, Л.И. Седова, В.М. Бородинского, Д.П. Гохштейна, и др. [5, 6, 7]. Понятие энтропии широко принято в энергетических расчетах теплотехнических систем [13]. В работах А.В. Дмитриенко, В.Г. Попова наиболее полно проведен системный анализ существующих законов неравновесной термодинамики, которая использует для построения своих моделей

феноменологические уравнения теории энтропии [8].

Из обзора следует, что энтропийные постановки хорошо приспособлены для оценки состояния исследуемой диссипационной структуры. Сформулированные в [9, 10, 11] основные законы энергоэнтропии функционально увязывают движущие силы, свойства, потоки вещества и энергии рабочего тела. Действия сил и потоков в условиях

недалеких от равновесия указывают на справедливость феноменологических законов Ома, Дарси, Фурье и т.д. Проверка уместности их использования в связи с ростом интенсивности потребления энергии становится все актуальнее, и должна проводиться в каждом конкретном случае экспериментальным путем с установлением связей функционального характера (1)

$$S = f[\text{потоки, силы, свойства, геометрические параметры}]. \quad (1)$$

Для каналов круглого и прямоугольного сечений с различными свойствами движущихся теплоносителей зависимость (1) имеет вид с дробными параметрами [12, 14], (2), (3), (4):

$$\phi \left(\frac{F}{\omega} \right)^{0.9} = S^{1.25}, \quad (2)$$

где $S = \frac{\Delta S}{\Delta S_{\max}}$ – безразмерный критерий термодинамического подобия;

ϕ – критерий Стантона, F – поверхность теплообмена, м^2 ; ω – площадь поперечного сечения канала, м^3 ;

$$\phi = 0.8 \frac{\Psi_s^{1.2}}{\Psi_{\text{геом.}}^{0.9}},$$

$$\text{где } \Psi_s = \frac{\Delta S}{\Delta S_{\max}}, \quad \Psi_{\text{геом.}} = \frac{F}{\omega}. \quad (3)$$

$$St \cdot K_{\text{геом.}}^{0.9} = f \left[\left(\frac{\Delta S}{\Delta S_{\max}} \right)^{1.2}, \tau \right]. \quad (4)$$

В функционале (4) энтропийный параметр содержится в неявном виде. Однако доказана его корреляция в функциональных связях между тепловыми потоками, свойствами теплоносителя, временем течения процесса [7, 12].

Для доказательства существования «обобщенного параметра» субъект получает новые зависимости в виде «обобщенного параметра» состояния для новых условий энергообмена на новых лабораторных вычислительных комплексах.

Ниже представлен состав комплекса, алгоритмическая структура и методика обработки результатов исследований рис. 1.

Для достижения цели эксперимент проведен на нескольких установках типа источник-приемник энергии (ИПЭ). В каждой паре ИПЭ изучается свой набор энергопреобразований: условия взаимодействия газового инфракрасного излучателя с металлической пластиной (ИГИ-МП), электрического инфракрасного излучателя с поверхностью из кирпичной стенки (ЭИИ-КС), электрического тепловыделяющего элемента через изоляционный материал и цилиндрическую металлическую поверхность с окружающей средой (Э-ТВЭ-ОС).

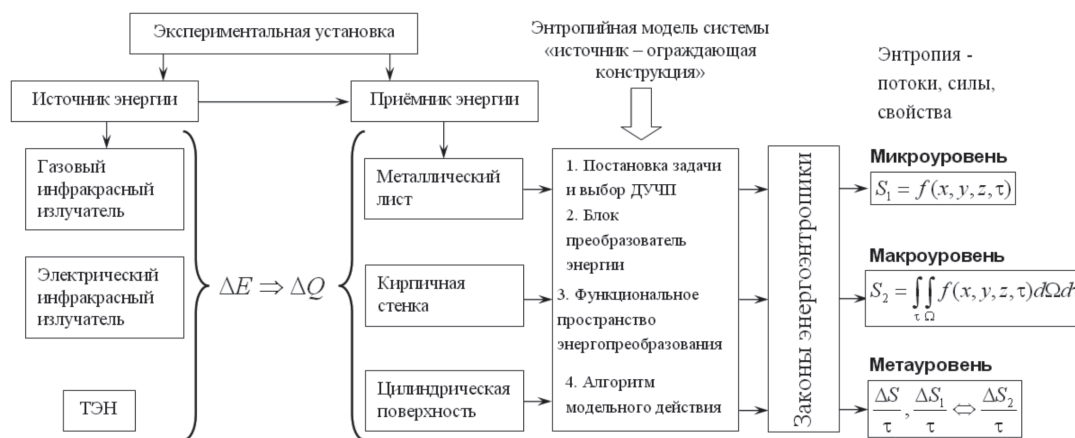


Рис. 1. Системная идентификация «обобщенного» структурного параметра

Набор установок и приборные возможности позволяют провести экспериментальные исследования для основных явлений нестационарной теплопередачи теплоты теплопроводностью, конвекцией, излучением.

На рис. 1 представлена обязательная последовательность действий для получения результатов: постановка краевой задачи в виде системы дифференциальных уравнений в частных производных; рассмотрение каждой структуры в образе «обобщенного преобразователя энергии»; формирование структуры в терминах «пространства состояния»; построение алгоритма «конечного действия»; в априорную составляющую входят законы энергоэнтропии [15, 20]; апостериорную – результаты экспериментальных ис-

следований; анализ полученного материала и его математическая обработка представлена в трех иерархических уровнях. [15].

В процессе системного изучения априорной информации выявляется структура объекта и ее параметры.

Структуризация термодинамической системы подразумевает совокупность блоков [15, 18] «преобразователей энергии». Блок преобразователь энергии представлен на рис. 2. Структура отражает в общем виде характерный потоковый баланс энергии и массы для условий существования объекта: семи потоковых форм, двух типов энергопреобразований, наличия трех рабочих тел.

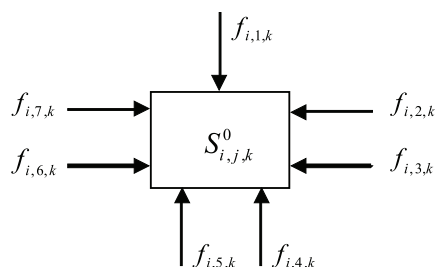


Рис. 2. Модель – блок «преобразователь разнородной энергии» типа «источник – приёмник энергии»

$f_{i,1,k}$ – электрической энергии,

$f_{i,2,k}$ – естественная конвекция,

$f_{i,3,k}$ – вынужденная конвекция,

$f_{i,4,k}$ – теплопроводность,

$f_{i,5,k}$ – инфракрасное излучение,

$f_{i,6,k}$ – топливо (газ).

$f_{1,j,k}$ – трансформатор энергии,

$f_{2,j,k}$ – преобразователь энергии,

$f_{i,j,1}$ – жидкость,

$f_{i,j,2}$ – воздух,

$f_{i,j,3}$ – твёрдое тело.

Характеристические данные в таком виде позволяют субъекту строить функциональные зависимости (5):

$$\bar{Y} = F_s(X(\tau), H(\tau), V(\tau), \tau) = 0, \quad (5)$$

состояния системы. $\bar{Y}$ – вектор траектории выходных параметров. X, H, V , – множества для векторов входных, внутренних, внешних параметров:

$$\bar{x}_{n_x}(\tau) \in X, x = \overline{1, n_x}, \quad \bar{h}_{n_h}(\tau) \in H, h = \overline{1, n_h}, \quad \bar{v}_{n_v}(\tau) \in V, v = \overline{1, n_v}. \quad (6)$$

Параллельно с созданием функциональной записи, формируются условия краевой задачи в виде систем алгебраических и дифференциальных уравнений второго порядка в частных производных. Оценивается возможность решения такой системы численными методами. В случае большой нелинейности предпочтение отдается эксперименту, решаются инверсная и обратные задачи при известных из эксперимента

граничных условиях рабочих тел участвующих в энергообмене.

Реализация численных процедур в любом случае нужна для определения градиентных или дивергентных характеристик соответствующих скалярных и векторных полей.

Для удобства классификации решаемых или нужных для решения задач результаты систематизированы на трех иерархических

уровнях их представления. Как правило, после обработки экспериментальных данных нестационарное скалярное поле описывается в виде функции двух и или трех переменных (7).

$$S_1^0 = F_1(x, y, z, \tau). \quad (7)$$

Макроуровневое описание модели (7) требует получения функции (8). Для этого (7) интегрируется по объему, поверхности или времени, в зависимости от цели поставленной задачи:

$$S_2^0 = \int_{\tau} \int_{\Omega} F_1(x, y, z, \tau) d\Omega d\tau. \quad (8)$$

Уравнения (9) дают потоковые переменные, которые удобно сопоставлять между собой, а значит определять энергетические характеристики структур типа (9).

$$\frac{\Delta S_{3,n=1}}{\tau} \Leftrightarrow \frac{\Delta S_{3,n=2}}{\tau} \Leftrightarrow \frac{\Delta S_{3,n=3}}{\tau}. \quad (9)$$

Схема экспериментальной установки, реализует модельное силовое состояние процесса теплопроводности в металлическом листе (рис. 3,а), кирпичной стенке (рис. 3,б), двухслойном цилиндрическом теле (рис. 3,в). Условия принуждения формируются от газового топливного инфракрасного излучателя белого типа, электрического инфракрасного излучателя и тепловыделяющего элемента под действием электрического тока.

Регулирование мощности источников теплоты позволяет реализовывать условия переключения с одного силового режима на другой и тем самым формировать переходные и нестационарные процессы в материале изделий. Предусмотрена система «аналог код» для передачи и выработки цифрового сигнала на компьютер.

Экспериментальная установка как комплекс источников и приемников энергии [4, 20] изображена на рис. 3.

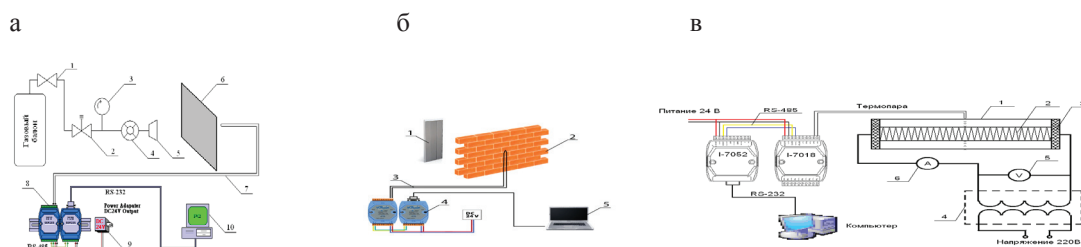


Рис. 3. Структурное отражение лабораторно-вычислительного комплекса: а – (ИГИ-МП) – инфракрасный газовый излучатель, металлическая пластина, система аналог код с термометрами и компьютером. б – (ЭИИ-КС) – электрический инфракрасный излучатель, кирпичная стенка, система аналог код с компьютером; в – (ЭН-ЦТ) – электрический нагреватель с изоляцией и цилиндрической оболочкой, система аналог код и компьютер

Макроуровневый функционал вида (9) получен после интегрирования поля энтропий по объему кирпичной стенки рис. 3б.

$$S_k(\tau) = F_{2S}(f_{2,2,k}, f_{2,4,k}, f_{2,5,k}, \tau) \quad (10)$$

Управление через лучистый поток $f_{2,5,k}$ позволяет осуществлять воздействие на поле энтропии. На рис. 4 показано развитие интегрального энтропийного поля во времени в четырех координатных точках сечения кирпичной стенки.

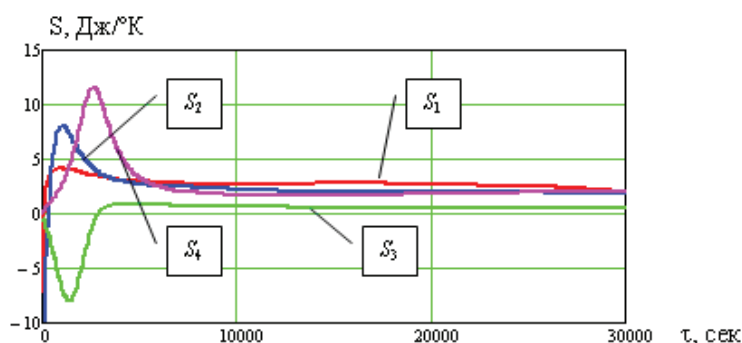


Рис. 4. Макроуровневые потоки S_p, S_2, S_3, S_4 при $x = 0.01, 0.035, 0.065, 0.09$ м

Энергетическое состояние сформировано на основе модели процесса теплопроводности. Поскольку другие составляющие (лучистая и конвективная) при малом уровне температур незначительно влияли на общий уровень энергообмена.

В первой задаче при малой толщине пластины и быстрого прогрева ее по толщине основное внимание обращено к решению задачи естественной конвекции.

Измерения температур и скоростей проведены термопарами и термоанемометрами.

Использование методов интерполяции и конечноразностной аппроксимации измеренных значений теплоносителя позволила найти температурные поля и потоки теплоты в движущейся воздушной среде. Отношение полей потоков и температур позволили определить поля локальной энтропии, рис. 5.

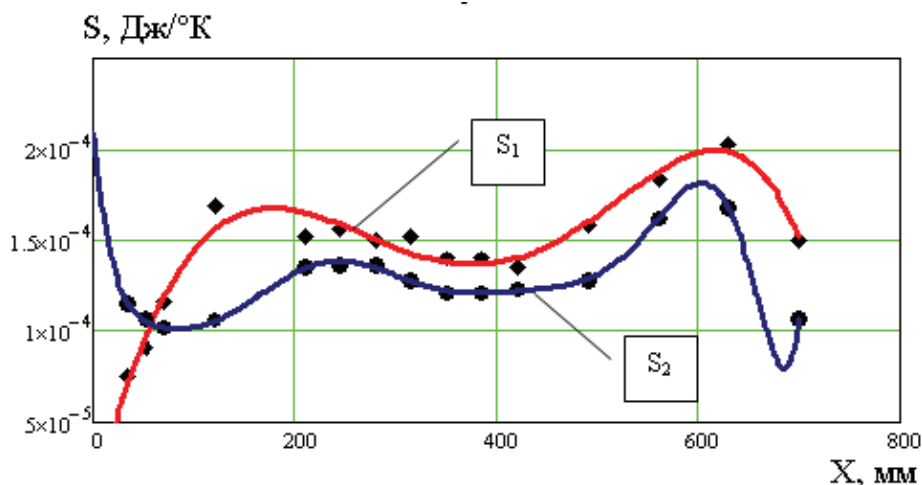


Рис. 5. Микроуровневые представления энтропийных конвективных потоков воздуха около пластины:

1 – 15 мм от пластины; 2 – 25 мм от пластины

Траектория развития функционала после интегрирования поля энтропии по объёму пограничного слоя имеет вид

$$S_i(\tau) = F_{2S}(f_{2,2,k}, f_{2,4,k}, f_{2,5,k}, \tau), \quad (10)$$

где $f_{2,5,k}$ принуждающее воздействие (11).

В наиболее общей постановке проведены экспериментальные исследования для задачи рис. 6, в.

На рис. 6, А, В показаны силовые характеристики поля механической и термической форм движения энергии в условиях естественной конвекции около цилиндра. Синим цветом (рис. 6, С) представлены расчётные скорости, красным – экспериментальные данные. Анализ полей показал, что в зоне малых скоростей экспериментальные и расчётные данные совпадают. С увеличением ω от 0,3 до 1,8 м/с погрешность расчётных и экспериментальных данных достигает 46%.

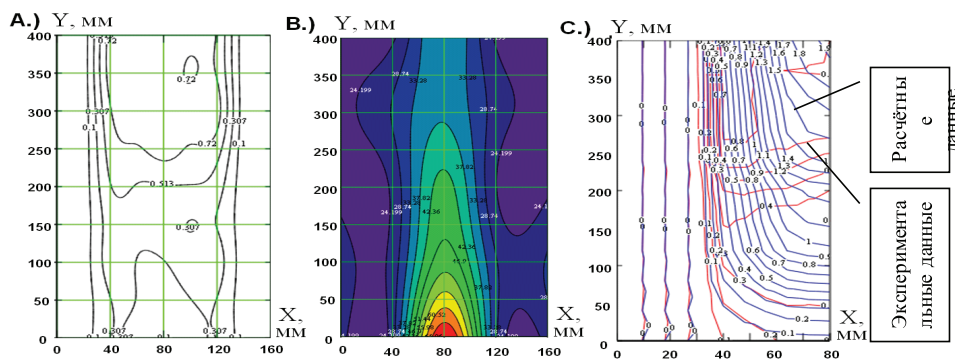


Рис. 6. Силовые поля термической и механической форм движения энергии в условиях естественной конвекции

Методами теории поля в движущемся потоке воздуха найдены касательные напряжения и плотности потоков теплоты.

На рис. 7 представлены экспериментальные нестационарные поля температур в цилиндрическом теле.

После перехода на макроуровневый вид представления тепловой и механической форм энергии определены функции эн-

тропии в тепломеханической и теплопроводной частях объекта. А затем и суммарная величина удельной энергии для всей установки. Для цилиндрического тела $S = 7.547 \text{ Дж/}^\circ\text{К}$, механическая составляющая пограничного слоя $S_w = 2.4 \cdot 10^{-5} \text{ Дж/}^\circ\text{К}$, термическая составляющая пограничного слоя $S_T = 0.087 \text{ Дж/}^\circ\text{К}$.

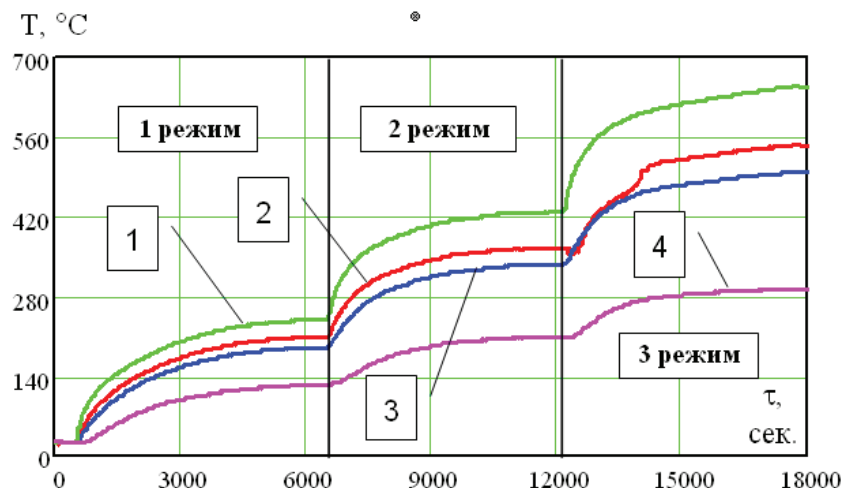


Рис. 7. Силовые термические характеристики теплопроводности в теле на 3-х режимах: 1 – температура ТЭНа, 2 – температура вещества на глубине 12 мм, 3 – температура вещества на глубине 6 мм, 4 – температура поверхности

Удельная обобщенная энергетическая характеристика системы за время ее работы составила

$$S_{\text{ц}} = F_{2S} (f_{i,1,k}, f_{i,2,k}, f_{i,4,k}, f_{i,5,k}) = 7.634 \text{ Дж/}^\circ\text{К}. \quad (12)$$

Уравнение (12) указывает на получение единого энергетического показателя в виде воспроизводства «обобщенной энтропии», характеризующего суммарное энергетическое состояние многоструктурной системы. Структура состоит из энергии присутствующей в формах «гидравличе-

ского» и «теплого» пограничного слоев, «теплопроводности» цилиндрического тела.

Разница в энергетическом состоянии системы на двух режимах ее работы $S_{\text{ц}k} - S_{\text{ц}i} = \Delta S_{\text{ц}k,i} \Rightarrow 0$, где k и i режимы работы, дает возможность субъекту сохранять интервал оптимального управления.

На рис. 8 представлены потоковые макроуровневые функции воспроизводства обобщенной энтропии в разных структурах (ЭИИ-КС) и (Э-ТВЭ-ОС).

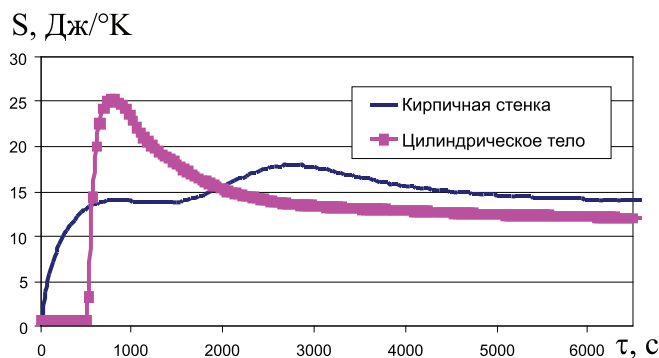


Рис. 8. Макроуровневое воспроизводство потоков энтропии различными теплотехническими структурами

Графики на рис. 8 построены на основе третьего закона энергоэнтропии (8) и позволяют сравнивать меняющийся во времени «обобщенный энергетический показатель» двух разных структур, который указывает на состояния этих энергетических структур. Динамика изменения позволяет вести оценку количества и качества энергии требуемой для термодинамических процессов.

Попытка обобщения полученных результатов на **целый класс объектов с помощью критериальной формулы (4)** дала ряд функций рис. 9 при $n = -2.05$ – для цилиндрической металлической поверхности, $n = -0.71$ – для кирпичной стенки достаточно близко расположенные от области значений представленных другими авторами. Из рис. 9 следует, что разные по своему принципу работы тепловые системы

описываются графиками с разбросом экспериментальных данных в 20%. А формула (4) указывает на возможность управления энергетическими ресурсами трёх рассматриваемых структур. Связь энтропийных, потоковых, геометрических критериев позволяет наглядно демонстрировать на одном графике особенности и направление изменения «обобщенной энергии» в разных теплотехнических системах.

Такого рода результаты дают основание для построения параметрических номограмм, для групповой структуры, в которой «обобщенный относительный энтропийный критерий» замыкает на себя относительные «силы», «потоки», «свойства» исследуемой структуры. На рис. 10 раскрыт функционал (13) для системы «б» рис. 3.

$$S_* = f(q, L, t, \alpha, \lambda, a), \quad (13)$$

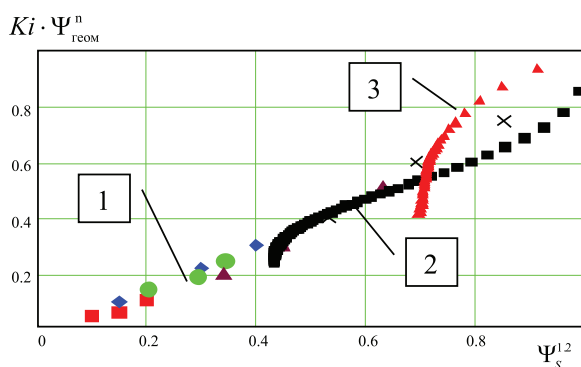


Рис. 9. Сравнение энтропийного представления для разных производственных объектов: 1 – авторы по формулам (2, 3, 4), 2 – цилиндрическая ограждающая поверхность, $n = -2.05$, 3 – кирпичная ограждающая поверхность, $n = -0.71$

где S_* – безразмерная энтропия системы; $q, L, t, \alpha, \lambda, a$ – соответственно безразмерные плотность теплового потока от источников энергии разной мощности:

1 – 1 кВт, 2 – 2 кВт, 3 – 3 кВт; геометрический параметр, температура, коэффициент теплоотдачи, коэффициент теплопроводности и температуропроводности.

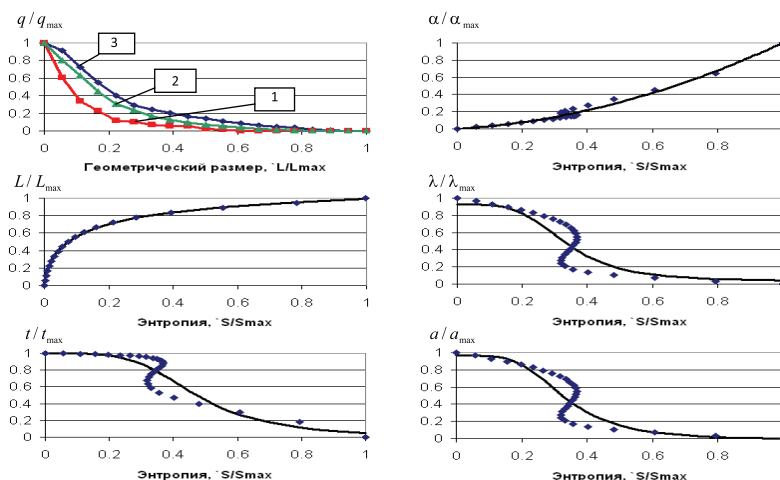


Рис. 10. Энтропийный функционал и его функции

Использование построенных номограмм освобождает исследователя множество раз пересчитывать системы нелинейных уравнений для разных граничных условий в заданной области определения рабочих функций. Как следствие напрашивается вывод, что **макроуровневое энтропийное** представление удельного энергетического состояния структуры позволяет находить условия оптимального управления и функционирования объекта путем контроля минимизации отклонений воспроизводства энтропии (8), [20]. Для примера построим функционал (13), который позволяет записать, а за-

тем и найти практически все параметры системы через связь «обобщенной суммарной энтропии» системы и входящих в нее структур. Функциональные зависимости, раскрывающие функционал (14) для двух структур показаны на рис (11).

$$S_* = f(S, Ki, Bi, Fo), \quad (14)$$

где S_* – безразмерная суммарная энтропия двух систем; S, Ki, Bi, Fo – безразмерные параметры: энтропия одной из систем; критерий Кирпичёва; Критерий Био; время соответственно.

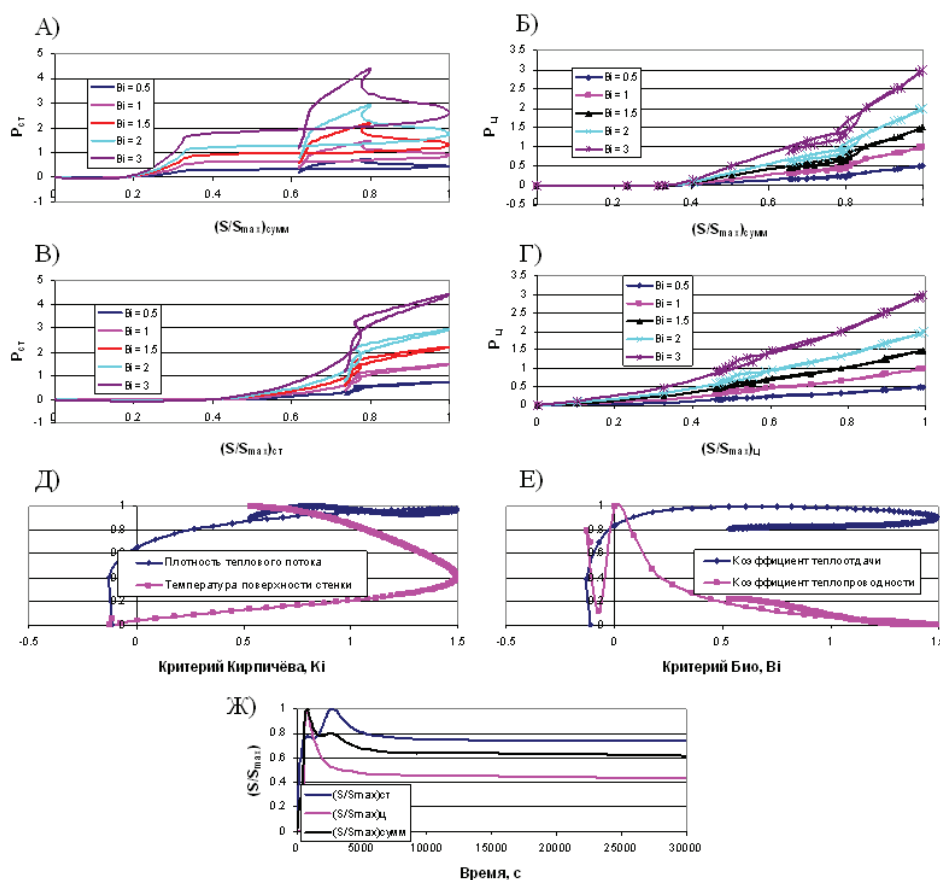


Рис. 11. Функциональные решения, связывающие в термодинамической системе через энтропийные критерии потоки, силы и свойства двух структур

На рис. 11 показаны следующие функциональные зависимости в виде произведений: А – $P_{ст} = KiBi(S/S_{max})_{ст}$ критериев Кирпичёва, Био, энтропийного критерия от суммарной безразмерной энтропии для системы (ЭИИ-КС); Б – $P_{ц} = KiBi(S/S_{max})_{ц}$ Кирпичёва, Био, энтропийного критерия от суммарной безразмерной энтропии для системы (ЭН-ЦТ); В, Г – указывают на потоковые связи для кирпичной и цилиндрической стенок; Д – функция связи безразмерных

температур поверхности и плотности теплового потока с критерием Кирпичёва; Е – связи безразмерных коэффициентов теплоотдачи, теплопроводности и критерия Био. Ж – связи безразмерной энтропии системы с реальным временем процесса. «Склеивание» двух структур в неравновесной термодинамической системе по параметру «суммарная безразмерная энтропия» позволяет определять параметры связи любого блока структуры. На рис. 11, А, Б экстремумы функций соответствуют харак-

терному изменению свойств структуры и системы. Алгоритм работы с графиками рис. 11 требует по заданным значениям безразмерной энтропии и числа Bi , определить критерий K_i . Из графиков Д и Е по значениям K_i и Bi находятся свойства рабочих тел, плотности тепловых потоков, температур, коэффициенты теплопроводности, теплоотдачи. По Ж определяется реальное время процесса, по А доля энергии, которую необходимо затратить на прогрев кирпичной стенки в зависимости от общей суммарной энергии всей системы в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бакунов, В.С., Беляков, А.В. Технология керамики как процесс аккумуляции и диссипации энергии // Конструкции из композиционных материалов. – № 2. – М.: 2005. – С. 5-18.
2. Игонин, В.И. Расчетно-экспериментальная идентификация балансовой модели теплообмена в ограждающей поверхности / Д.А. Белянский, В.Г. Пычев // Вестник Международной академии наук экологии и безопасности жизнедеятельности. – Т. 14. – № 1. – 2009. – С. 79-94.
3. Игонин, В.И. К расчетно-экспериментальному определению энергетических параметров и балансовой модели теплообмена в приемнике лучистой энергии / Д.А. Белянский // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. «Технические науки». – №1 (23). – 2009. – С. 175-183.
4. Игонин, В.И. Энтропийная оценка процессов энергообмена в ограждающих конструкциях / Д.А. Белянский // Academia. Архитектура и строительство. – М., 2010. – С. 253-260.
5. Аснин, Я.И. Тепловое подобие, конвективный теплообмен и энтропия / Я.И. Аснин. – Харьков: Изд-во Харьковского ордена Трудового красного знамени государственного университета им. А.М. Горького, 1962.
6. Вукалович, М.П. Термодинамика: учеб. пособие для вузов / М.П. Вукалович, И.И. Новиков. – М.: Машиностроение, 1972. – 672 с.: ил.
7. Гохштейн, Д.П. Энтропийный метод расчета энергетических потерь. – 2-е изд., перераб. / Д.П. Гохштейн. – Госэнергоиздат, 1963. – 112 с.
8. Дмитриенко, А.В., Попов В.Г. Введение в феноменологическую неравновесную термодинамику: учеб. пособие / А.В. Дмитриенко, В.Г. Попов. – М.: МАТИ, 2007. – 180 с.
9. Дьярмарт, И. Неравновесная термодинамика. Теория поля и вариационные принципы / И. Дьярмарт. – М.: МИР, 1974. – 304 с.
10. Лыков, А.В. Теория тепло- и массопереноса / А.В. Лыков, Ю.А. Михайлов. – М.; Л.: Госэнергоиздат, 1963. – 535 с.
11. Самарский, А.А., Вабищевич, П.Н. Вычислительная теплопередача. – М.: Едиториал УРСС, 2003. – 784 с.
12. Титов, Д.В. К локально-модульной организации лучисто-конвективного энергообмена элемента промышленной теплоэнергетической системы / Игонин В.И., Титов Д.В., Чучин В.Н. // Вестник Московского авиационного института. – Т. 14. – № 4. – 2007. – С. 62-67.
13. Эксергетический метод и его приложения / под ред. В.М. Бродянского. – М.: Мир, 1967.
14. Игонин, В.И. К разработке системы управления процессами сушки керамических изделий / Д.А. Белянский, В.А. Боровков // Автоматизация и энергосбережение машиностроительного и металлургического производства: технология и надежность машин, приборов и оборудования: материалы пятой междунар. науч.-техн. конф., 23-25 нояб. 2009. – в 2 т. – Т. 1. – Вологда, 2009. – С. 52-54.
15. Игонин, В.И. Пути повышения эффективности теплоэнергетических систем: Монография / В.И. Игонин. – Вологда: ВоГТУ, 2007. – 119 с.
16. Игонин, В.И. О принципах интегральности и системности и жизнепроизводства / Игонин В.И. // Экология и безопасность. Газета МАНЭБ- №7. – 2009.
17. Igonin V.I. // Research Journal of International Studies. – [Режим доступа]: <http://research-journal.org/featured/technical/obochevidnosti-proyavleniya-svoystv-integralnosti-pri-sistemnom-termodynamicheskom-analize-energeticheskoy-ustanovki>. – 2012.
18. Игонин В.И. Особенности системной идентификации человекомерной модели функционирования технической энергосистемы // Современные наукоемкие технологии. Технические науки. – №1 – 2013. – С. 22-26.
19. Игонин, В.И. Об очевидности проявления свойств интегральности при системном термодинамическом анализе энергетической установки / В.И. Игонин // Вестник Череповецкого государственного университета. – №1(45). – 2013. – С. 12-14.
20. Игонин, В.И. Особенности энтропийной идентификации неравновесной синергетической системы / Д.В. Титов, В.И. Игонин // Вестник МАНЭБ. – №4 (17). – 2012. – С. 59-65.

УДК 678.4/7:537.311

ВЛИЯНИЕ ВЫСОКОДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ МЕДИ НА ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИЕ СВОЙСТВА РЕЗИН НА ОСНОВЕ ЭТИЛЕНПРОПИЛЕНОВОГО КАУЧУКА

Каблов В.Ф., Петрюк И.П., Калеев В.О.

*ФГБОУ ВПО «Волгоградский государственный технический университет»,
Волгоград, e-mail: lppm@vstu.ru*

В работе показано использование этиленпропиленового каучука, модифицированного высокодисперсными частицами меди, для разработки электропроводящих композиций; установлено, что для разработки электропроводящих резин на основе этиленпропилендиеновых каучуков содержание электропроводных наполнителей должно быть не менее 22 % (об.).

Ключевые слова: эластомеры, нанокompозиты, металлические частицы, модификация, электропроводные резины

INFLUENCE OF HIGH-DISPERSE PARTICLES OF COPPER ON ELECTROCARRYING-OUT PROPERTIES OF RUBBERS ON THE BASIS OF ETHYLENE-PROPYLENE RUBBER

Kablov V.F., Petryuk I.P., Kaleev V.O.

Volgograd State Technical University, Volgograd, e-mail: lppm@vstu.ru

Use of the ethylene-propylene rubber modified by high-disperse particles of copper, for development of electrocarrying-out compositions is shown. It is established that for development of electroconductive rubbers on the basis of EPDM the maintenance of electrowire fillers must be not less than 22 %.

Keywords: elastomers, nanocomposites, metal particles, modification, electrowire rubbers

Эластомерные электропроводные композиционные материалы с разным уровнем электрических характеристик находят широкое применение во многих отраслях промышленности и в медицине [3, 9].

Для придания эластомерным композициям свойств электропроводных материалов наиболее часто используют в качестве наполнителей специальные марки технического углерода и графита. Они, при относительно малом содержании в эластомерах, за счет высокой адсорбционной поверхности, структурности и шероховатости, создают совместно с эластомером углерод-эластомерную структуру, необходимую для переноса электрического заряда в материале [3-4].

Одним из перспективных способов придания резинам электропроводящих свойств является модифицирование эластомерных матриц высокодисперсными частицами металлов [7].

Ранее было показано влияние высокодисперсных частиц меди на теплостойкость резин на основе этиленпропиленового каучука [1, 2, 5], учитывая высокие электрические характеристики этих частиц, представляет интерес провести анализ влияния содержания высокодисперсных частиц меди на электропроводящие свойства эластомерных композиций.

Поэтому целью работы являлось исследование электрических свойств композиций на основе этиленпропиленового каучука,

модифицированного высокодисперсными частицами меди.

В качестве объектов исследования использовались резиновые смеси на основе этиленпропиленового каучука СКЭПТ-40 с пероксидной вулканизующей системой. В качестве наполнителя композиции содержали активный технический углерод П-324. Для модификации эластомерной матрицы высокодисперсными частицами меди использовался метод высокоскоростного термического разложения металлсодержащего органического прекурсора в полимере [6]. В качестве прекурсора был выбран ди-гидрат формиата меди $(\text{Cu}(\text{HCOO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O})$. Вулканизация образцов модифицированных резин проводилась при температуре 160 °C в течение 30 минут.

Исследование состава и дисперсности металлических частиц в полученных образцах осуществлялось с помощью рентгеноструктурного анализа. Съемка дифрактограмм проводилась на аппарате ДРОН-3,0 в излучении $\text{Cu}_{K\alpha}$ (Ni-фильтр). Размеры металлических частиц определяли по методу аппроксимаций, основанному на уравнении Селякова – Шеррера.

Измерение электрического сопротивления образцов резин проводили потенциометрическим методом с помощью универсального измерителя LCR E7-11.

Определение физико-механических характеристик исследуемых эластомерных

материалов проводилось по ГОСТ 270-75, ГОСТ 263-75.

Определение плотности полученных образцов производилось гидростатическим методом в соответствии с ГОСТ 267-73.

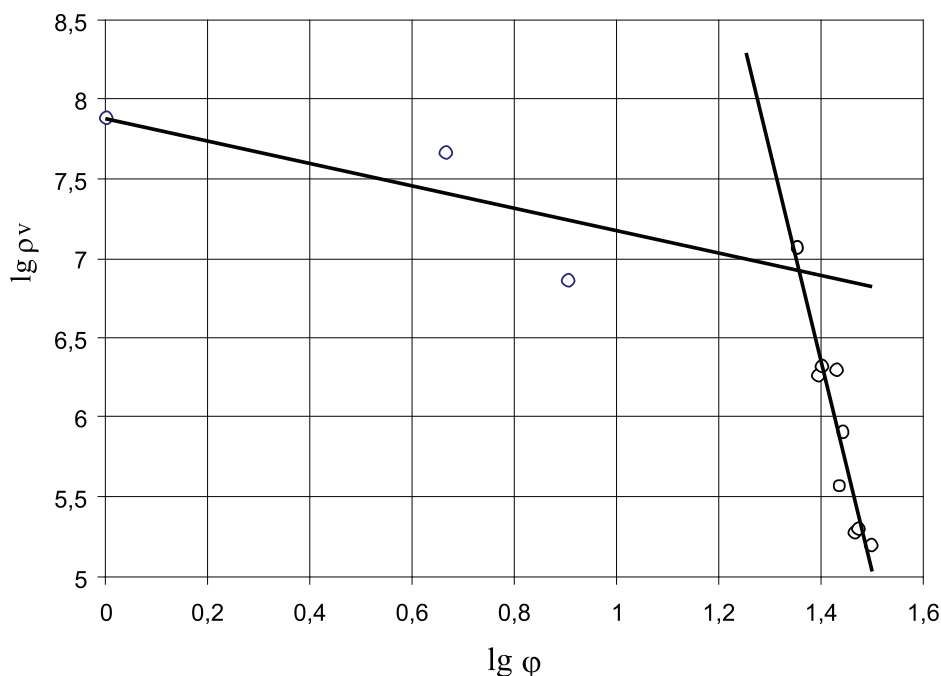
Рентгеноструктурный анализ показал, что в исследуемых образцах модифицированного эластомера наблюдаются отражения от плоскостей кристаллической решетки соответствующие по картотеке ASTM меди. После разделения физического уширения на две его составляющих – уширения, связанного с микронапряжениями и малостью областей когерентного рассеяния, установлено, что средний размер частиц меди – 143 нм.

Как видно из представленных в таблице данных, модельные композиции на основе модифицированного каучука обладают удовлетворительными физико-механическими показателями. При этом, хорошо видно, что содержание модифицирующей добавки не оказывает заметного влияния на деформационно-прочностные характеристики исследуемых резин. Это позволяет предположить, что и для промышленных рецептур замена каучука на модифициро-

ванный сополимер позволит сохранить исходный уровень механических характеристик.

По величине удельного объемного электрического сопротивления (ρ_v) исследуемые материалы относятся к группе полупроводников [8]. При этом, из данных таблицы хорошо видно, что использование в составе композиции каучука, модифицированного высокодисперсными частицами меди, позволяет на порядок повысить электропроводящие свойства эластомерного материала.

На рисунке представлена зависимость ρ_v полученных композитов, от содержания электропроводящего наполнителя. На рисунке видно, что в логарифмических координатах эта зависимость имеет два линейных участка, точка пересечения которых соответствует порогу перколяции, выше которого в системе «эластомер–наполнитель» образуется структура, обеспечивающая перенос электрического заряда. Исследования показывают, что критическая концентрация (порог перколяции) электропроводящего наполнителя для резин на основе этилпропилендиенового каучука составляет ~22 % (об.).



Зависимость удельного объемного электрического сопротивления (ρ_v) исследуемых композиций от содержания (ϕ) электропроводящего наполнителя

Т а б л и ц а

Составы и свойства исследуемых эластомерных композитов

Состав композиции	Содержание, масс. ч.											
Частицы меди	10	10	10	10	50	50	50	50	90	90	90	90
Технический углерод П-324	–	60	70	80	–	60	70	80	–	60	70	80
Физико-механические свойства												
f_p , МПа	0,56	0,80	0,78	0,96	0,79	2,35	1,24	1,48	0,96	1,80	2,77	0,79
ε_p , %	128	90	83	45	113	212	110	68	105	115	47	50
q , %	5	8	4	7	4	9	7	7	4	7	4	4
H , усл.ед.	47	64	68	71	52	65	71	74	59	74	78	77
ρ , кг/м ³	970	1110	1204	1252	1308	1363	1338	1370	1379	1582	1574	1529
Электропроводящие свойства												
$\rho_v \cdot 10^{-6}$, Ом·м	75,1	11,6	2,1	0,8	45,4	1,9	0,4	0,2	7,3	2,0	0,2	0,2
$\chi_v \cdot 10^6$, Ом ⁻¹ ·м ⁻¹	0,01	0,09	0,48	1,22	0,02	0,53	2,70	5,13	0,14	0,50	5,26	6,45

Примечание. f_p – условная прочность при растяжении; ε_p – относительное удлинение при разрыве; θ – относительное остаточное удлинение после разрыва; H – твердость по Шору А; ρ – плотность; ρ_v – удельное объемное электрическое сопротивление; χ_v – удельная эквивалентная электропроводность.

Таким образом, в ходе проведенных исследований показана возможность разработки электропроводящих резин на основе этиленпропиленового каучука модифицированного высокодисперсными частицами меди; установлено, что для разработки электропроводящих резин на основе этиленпропилендиеновых каучуков содержание электропроводных наполнителей должно быть не менее 22%(об.).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Влияние наполнителей, модифицированных металлами переменной валентности, на высокотемпературное старение резин на основе этиленпропиленового каучука / И.А. Новаков, В.Ф. Каблов, И.П. Петрюк [и др.] // Известия Волгоградского государственного технического университета. Серия «Химия и технология элементоорганических мономеров и полимерных материалов»: межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. – Волгоград: РПК «Политехник», 2011. – Вып. 8, № 2. – С. 102-105.
2. Высокотемпературное старение резин на основе этиленпропиленового каучука, модифицированного частицами металлов переменной валентности / И.А. Новаков, В.Ф. Каблов, И.П. Петрюк, А.Е. Михайлюк // Каучук и резина. – 2010. – № 5. – С. 27-32.

3. Гуль В.Е., Шенфиль Л.З. Электропроводящие полимерные композиции. – М.: Химия, 1984. – 240 с.
4. Кошелев Ф.Ф., Корнев А.Е., Буканов А.М. Общая технология резины. – М.: Химия, 1978. – 528 с.
5. Модификация эластомерной матрицы частицами металлов переменной валентности для резин, подвергающихся высокотемпературному воздействию / И.А. Новаков, В.Ф. Каблов, И.П. Петрюк, А.Е. Сомова // Каучук и резина. – 2009. – № 1. – С. 5-8.
6. Патент РФ № 2470958, МПК С 08 К 5/098, С 08 L 9/00. Способ получения эластомерных металлсодержащих композиционных материалов / И.А. Новаков, И.П. Петрюк, В.Ф. Каблов [и др.]. – Заявл. 29.07.2011; опубл. 27.12.2012, Бюл. № 36.
7. Помогайло А.Д. Наночастицы металлов в полимерах / А.Д. Помогайло, А.С. Розенберг, И.Е. Уфлянд. – М.: Химия, 2000. – 672 с.
8. Физикохимия полимеров / А.М. Кочнев, А.Е. Заикин, С.С. Галибеев, В.П. Архиреев. – Казань: «Фэн», 2003. – 512 с.
9. Эластомерные электроды рукавного типа / Е.Г. Платонова, В.Ф. Корнюшко, О.П. Отченашев, Ю.П. Смирнов // Известия Волгоградского государственного технического университета. Серия «Химия и технология элементоорганических мономеров и полимерных материалов»: межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. – Волгоград: РПК «Политехник», 2010. – Вып. 7, № 2. – С. 167-170.

УДК 621.3 (075.3)

ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИХ ДВИГАТЕЛЕЙ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Казьмин Б.Н., Трифанов И.В., Рыжов Д.Р.

Сибирский государственный аэрокосмический университет им. академика М. Решетнева,
Красноярск, e-mail: sibgau-uks@mail.ru

Рассмотрены электрические и магнитные составляющие электромагнитного процесса, создающие плотность электрических и магнитных сил. Взаимодействие соответствующих составляющих создает электродинамический вектор импульса, движущий транспортное средство в направлении этого вектора. В качестве источника электроэнергии электродинамических двигателей предлагается использовать энергию электронного взаимодействия электронных пучков, преобразуемую в электроэнергию.

Ключевые слова: плотность электрических и магнитных сил электромагнитного процесса, взаимодействие электрических и магнитных составляющих, электродинамический вектор импульса силы, энергия электронного взаимодействия, электродинамический двигатель

ELECTROPHYSICAL PROCESSES ELECTRODYNAMIC ENGINES OF VEHICLES

Kazmin B.N., Trifanov I.V., Ryzhov D.R.

Siberian state aerospace university M. Reshetnev, Krasnoyarsk, e-mail: sibgau-uks@mail.ru

We consider the electric and magnetic components of the electromagnetic process, creating a density of electric and magnetic forces. The interaction of the corresponding components creates an electro-vector momentum of a moving vehicle in the direction of the vector. As a source of energy electrodynamic propulsion is proposed to use the energy of electronic interaction of electron beams that can be transformed into electricity.

Keywords: density of electric and magnetic forces, the electromagnetic process, the interaction of electric and magnetic components, the momentum vector electrodynamic forces, energy electron interactions, electrodynamic propulsion

Современные транспортные средства приводят в движение путем вращения колес, винтов, шнеков и других агрегатов за счет момента вращения ($\mathbf{M} = \mathbf{F}e$) или за счет реактивной тяги – импульса силы ($m \cdot \mathbf{O} = \mathbf{F} \cdot t$) создаваемых соответствующими двигательными установками.

Исследование и освоение космического пространства требует создания соответствующих транспортных средств и аппаратов. Современные аэрокосмические транспортные средства, использующие реактивную тягу (механический вектор импульса силы, $m\mathbf{v}$) расходуют специальное топливо, запасы которого на борту весьма ограничены. Поэтому эти средства могут быть применены только для освоения ближнего космоса.

Ионным и электрореактивным двигательным установкам [1, 2] помимо необходимого запаса на борту ионизируемого рабочего вещества, требуется мощные источники электроэнергии и соответствующее количество топлива, запасы ионизируемого вещества и топлива на борту всегда ограничены. Все это существенно уменьшает радиус действия и время жизни космического транспортного средства. Известны космические аппараты, использующие энергию и вещество ядерных реакций [3],

которые могут негативно воздействовать на окружающую среду и человека. Поэтому приняты международные соглашения, существенно ограничивающие применение ядерных технологий в космосе.

Для исследования и освоения космического пространства нужны транспортные средства на основе электродинамических двигателей [4] преобразующих электроэнергию в силу тяги, движущую транспортное средство. Они не расходуют рабочее вещество, не дают вредных выбросов и отходов, негативно воздействующих на персонал и экологию. Источники электроэнергии для электродинамических двигателей и для жизнеобеспечения космических аппаратов должны использовать естественную неиссякаемую энергию, например энергию, электронного взаимодействия, преобразуемую в электроэнергию [4, 5, 6, 7, 8].

Рассмотрим возможности создания электродинамических двигателей на основе электромагнитного вектора импульса силы.

Взаимодействие составляющих электромагнитного поля можно описать трехмерными электрическим и магнитным тензором объемной плотности энергии (напряжений) в объеме электромагнитного процесса [9].

$$\mathbf{T}_E = \begin{vmatrix} \varepsilon E_x E_x & \varepsilon E_x E_y & \varepsilon E_x E_z \\ \varepsilon E_y E_x & \varepsilon E_y E_y & \varepsilon E_y E_z \\ \varepsilon E_z E_x & \varepsilon E_z E_y & \varepsilon E_z E_z \end{vmatrix}; \quad \mathbf{T}_H = \begin{vmatrix} \mu H_x H_x & \mu H_x H_y & \mu H_x H_z \\ \mu H_y H_x & \mu H_y H_y & \mu H_y H_z \\ \mu H_z H_x & \mu H_z H_y & \mu H_z H_z \end{vmatrix} \quad (1)$$

Здесь ε и μ – диэлектрическая и магнитная проницаемость среды соответственно; E_x, E_y, E_z – составляющие вектора напряженности электрического поля; H_x, H_y, H_z – составляющие вектора напряженности магнитного поля.

Источником этих напряжений являются объемные плотности сил электромагнитного процесса [9, 10].

$$\operatorname{div} \mathbf{T}_E = \mathbf{f}_E; \operatorname{div} \mathbf{T}_H = \mathbf{f}_H \quad (2)$$

Выполнив операцию div тензоров (1), получаем вектора плотности электрических, магнитных и электромагнитных сил [9]:

$$\mathbf{f}_E = \rho \mathbf{E} + \operatorname{grad}(E^2 \delta \varepsilon / \partial \delta) / 2 - E^2 \operatorname{grad} \varepsilon / 2$$

$$\mathbf{f}_H = \operatorname{grad}(H^2 \delta \mu / \partial \delta) / 2 - H^2 \operatorname{grad} \mu / 2 \quad (2a)$$

$$\mathbf{f}_{EH} = \mathbf{j} \times \mathbf{B}$$

Здесь ρ – объемная плотность электрического заряда; $\partial \varepsilon / \partial \delta$ и $\partial \mu / \partial \delta$ – изменение диэлектрической и магнитной проницаемости от плотности среды; $\operatorname{grad} \varepsilon$ и $\operatorname{grad} \mu$ – пространственное изменение диэлектрической и магнитной проницаемости; $\mathbf{j}$ – вектор плотности тока; $\mathbf{B}$ – вектор индукции магнитного поля.

Взаимодействие соответствующих векторов электрических и магнитных величин образуют электродинамический вектор импульса силы, движущий транспортное средство в направлении этого вектора.

$$\mathbf{A}_E \times \mathbf{B}_H = \mathbf{A}_E \mathbf{B}_H \sin \varphi_{AB} = \mathbf{F}t \text{ [Н·с]}. \quad (3)$$

Здесь: $\mathbf{A}_E$ – вектор электрической величины; $\mathbf{B}_H$ – вектор магнитной величины; φ_{AB} – угол между векторами. Максимальный импульс силы получим при взаимодействии ортогональных векторов $\mathbf{A}_E$ и $\mathbf{B}_H$.

Из полученных выражений следует, что вектора плотности электрических, магнитных и электромагнитных сил образуются произведением (взаимодействием) соответствующих векторных и скалярных электрических величин.

Определим электрические и магнитные составляющие, взаимодействие которых создаст вектор импульса силы, движущий транспортное средство в космическом пространстве в направлении этого вектора. Для этого воспользуемся теоремой получения физической величины и ее размерности [11]. Необходимо учитывать, что произведение векторной величины на скалярную, дает векторную величину. Векторное произведение векторов, дает вектор, а скалярное произведение векторов – скалярную величину [10].

Задаем исходную физическую величину – вектор силы тока $\mathbf{I}$, $\mathbf{A}$. Дополняющая его до вектора импульса силы совокупность физических величин должна быть

$$W_{dl} = \mathbf{F}t / \mathbf{I} \text{ [Н·с/А = Дж·с/м·А = В·с·м·с/м}^2\text{]} \rightarrow \mathbf{B} \ell \tau \quad (4)$$

$$\mathbf{F}t = [\mathbf{I} \times \mathbf{B}] \ell \tau \rightarrow [\mathbf{A} \times \mathbf{B} \cdot \text{с/м}^2] \text{м·с} = [\text{Н·с}]$$

Здесь: $\mathbf{F}t$ – вектор импульса силы, Нс; $\mathbf{B}$ – вектор индукции магнитного поля, В·с/м²; ℓ – активная длина тока (проводника с током), взаимодействующего с магнитным полем, м; $\pi / \omega = \tau$ – временной интервал (длительность) импульса, с; ω – циклическая частота электромагнитного процесса. За временной интервал $t=1$ секунда, данный электромагнитный процесс совершит $1/\tau = \omega/\pi$ импульсов силы. Взаимодействующие вектора $\mathbf{I}$ и $\mathbf{B}$ должны быть ортогональными, чтобы $\mathbf{F}t$ имел максимальное значение.

Задаем исходный вектор – напряженность электрического поля $\mathbf{E}$ [В/м]

Дополняющая электрическая величина

$$W_{dE} = \mathbf{F}t / \mathbf{E} \text{ [Н·с·м/В = Кл·с]} \rightarrow q \tau; \quad (5)$$

$$\mathbf{F}t = [\mathbf{E} \times q \tau] = [\mathbf{E} \times \mathbf{U}] C \tau$$

Здесь q – количество электрического заряда, Кл; $\mathbf{U}$ – напряжение между обкладками конденсатора; C – электрическая емкость конденсатора, Ф.

Задаем исходный вектор – плотность тока $\mathbf{J}$ [А/м²]

Дополняющая электрическая величина

$$W_{dj} = \mathbf{F}t / \mathbf{J} \text{ [Н·с·м}^2\text{/А = В·с·м·с]} = \Phi \ell \tau \quad (6)$$

$$\mathbf{F}t = [\mathbf{J} \times \Phi] \ell \tau$$

Здесь Φ – векторная величина, магнитный поток, $\Phi = \mathbf{B}S$, $Bb = \mathbf{B} \cdot \mathbf{c}$; ℓ – длина магнитной силовой линии, м (длина магнитного контура)

Плотность тока $\mathbf{J}$ может создавать силу тока проводимости $\mathbf{J}S = \mathbf{I}$, тогда получаем $\mathbf{F}t$ из (4). Плотность тока $\mathbf{J}$ может создаваться вектором электрического смещения (электрической индукции) $\mathbf{J} = \mathbf{D}f$; $\mathbf{D} = \varepsilon \mathbf{E}$ [Кл/м²].

Для этого вектора дополняющая электрическая величина

$$W_{dD} = \mathbf{F}t / \mathbf{D} \text{ [H} \cdot \text{с} \cdot \text{м}^2 / \text{Кл} = \text{В} \cdot \text{с} \cdot \text{м}] = \Phi \ell; \quad (7)$$

$$\mathbf{F}t = [\mathbf{D} \times \Phi] \ell$$

Задаем исходный вектор – напряжение U [В].

Дополняющая электрическая величина

$$W_{dU} = \mathbf{F}t / \mathbf{U} \rightarrow [\text{H} \cdot \text{с} / \text{В} = \text{Кл} \cdot \text{с} / \text{м} = \text{В} \cdot \text{с} \cdot \Phi / \text{м}] \rightarrow \Phi \varepsilon \quad (8)$$

$$\mathbf{F}t = [\mathbf{U} \varepsilon \times \Phi] \rightarrow [\text{В} \cdot \Phi / \text{м} \times \text{В} \cdot \text{с}] = [\text{H} \cdot \text{с}]$$

Задаем исходный вектор в виде электрического диполя $\mathbf{q}l$, Кл·м;
Дополняющая электрическая величина

$$W_{dql} = \mathbf{F}t / \mathbf{q}l \rightarrow [\text{H} \cdot \text{с} / \text{Кл} \cdot \text{м} = \text{В} \cdot \text{с} / \text{м}^2] \rightarrow \mathbf{B}; \quad (9)$$

$$\mathbf{F}t = [\mathbf{q}l \times \mathbf{B}].$$

Диполь $\mathbf{q}l$ может быть электропроводящим ($\mathbf{q}l = \mathbf{U}g/\tau$) или диэлектрическим ($\mathbf{q}l = \mathbf{U}C_l$). Здесь электропроводимость магнитопровода, C_m и C электрическая ем-

кость, в которой образуется электрический диполь, поляризующий диэлектрика.

Задаем исходный вектор – напряженность магнитного поля $\mathbf{H}$, А/м.

Дополняющая электрическая величина

$$W_{dH} = \mathbf{F}t / \mathbf{H} \rightarrow [\text{H} \cdot \text{с} / \text{м} / \text{А} = \text{В} \cdot \text{с} \cdot \text{с}] \rightarrow \Phi \tau; \quad (10)$$

$$\mathbf{F}t = [\mathbf{H} \times \Phi] \times \Phi \tau \rightarrow [\text{А} / \text{м} \times \text{В} \cdot \text{с}] = [\text{H} \cdot \text{с}].$$

Вектора $\mathbf{H}$ и Φ коллинеарны по физической сущности. Для создания $\mathbf{F}t$ они должны быть ортогональными, поэтому нужно построить магнитную цепь с ортогональными векторами магнитодвижу-

щих сил, которые образуют ортогональные $\mathbf{H}$ и Φ .

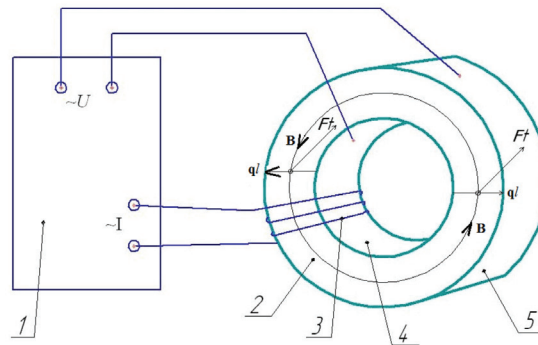
Задаем исходный вектор в виде магнитного момента $\mathbf{IS}$, А·м², где $\mathbf{I}$ – сила тока в обмотке индуктора; S – площадь витка обмотки, м²

$$W_{gHS} = \mathbf{F}t / \mathbf{HS} \rightarrow [\text{H} \cdot \text{с} / \text{А} \cdot \text{м}^2 = \text{В} \cdot \text{с} \cdot \text{с} / \text{м}^2] \rightarrow \mathbf{B} \tau / l; \quad (11)$$

$$\mathbf{F}t = [\mathbf{IS} \times \mathbf{B}] \tau / l \rightarrow [\text{А} \cdot \text{м}^2 \times \text{В} \cdot \text{с} / \text{м}^2] \text{с} / \text{м} = [\text{H} \cdot \text{с}].$$

Рекомендации для практического осуществления данного способа создания вектора $\mathbf{F}t$, аналогичные способу (10).

На рисунке показано устройство, с помощью которого может быть реализован способ создания электродинамической тяги (9).



Способ создания электродинамической тяги

Устройство представляет собой магнитную цепь, состоящую из источника электроэнергии 1 переменного тока и замкнутого магнитопровода 2, выполненного из электропроводящего ферромагнитного материала,

с обмоткой возбуждения 3, соединенной с клеммами тока источника электроэнергии 1. На внутренней и внешней поверхностях магнитопровода 2 расположены электроды, соответственно 4 и 5 в виде полос,

охватывающие эти поверхности. Электроды 4, 5 соединены с клеммами переменного напряжения источника электроэнергии 1.

Работает устройство следующим образом. С помощью обмотки 3, подключенной к клеммам тока источника электроэнергии 1, в магнитопроводе 2 возбуждают магнитное поле с вектором магнитной индукции:

$$\mathbf{B} = I \cdot w \cdot \mu / l \rightarrow [B \cdot c/m^2 = A \cdot Om \cdot c/m^2], \quad (12)$$

где I – сила тока в обмотке возбуждения, А; w – число витков в обмотке; μ – магнитная проницаемость магнитопровода, Ом·с/м; l – длина магнитного контура, м.

Под действием переменного напряжения источника электроэнергии 1, образуют между электродами 4, 5 в электропроводя-

щей среде магнитопровода электрические диполи:

$$\mathbf{q} \cdot l = U \cdot g \cdot l \cdot \tau \rightarrow [Kл \cdot м = В \cdot с \cdot м / Ом], \quad (13)$$

где U – напряжение на электродах, В; g – электропроводимость магнитопровода, Ом⁻¹; l – длина электрического диполя – расстояние между электродами, м; τ – длительность импульса силы, с, $\tau = 1/2f$; f – рабочая частота источника электроэнергии переменного тока, Гц.

В результате взаимодействия ортогональных векторов $\mathbf{B}$ и $\mathbf{q}l$, изменяющихся с циклической рабочей частотой ($\omega = 2\pi f$) источника электроэнергии 1 переменного тока, получают электродинамический вектор импульса силы:

$$\mathbf{F}t = [\mathbf{B} \times \mathbf{q} \cdot l] \rightarrow [A \cdot Om \cdot c/m^2 \times В \cdot с \cdot м / Ом] = [Н \cdot с], \quad (14)$$

который за интервал времени $t = 1$ секунда воздействует $2f$ раз на транспортное средство, обладающее данной магнитной цепью, и движет транспортное средство в направлении вектора импульса силы $\mathbf{F}t$.

При инвертировании фазы одной из возбуждающих величин, тока или напряжения, соответствующий вектор и вектор импульса силы инвертируются, а транспортное средство станет двигаться в направлении, противоположном первоначальному.

Источники электроэнергии и электродинамические движители, использующие энергию электронного взаимодействия [4, 5, 6, 7, 8]. Не требуют сжигания топлива, не расходуют рабочую среду, не образуют вредные выбросы и отходы и могут безостановочно работать десятки лет, до физического старения и износа комплектующих, деталей, узлов и агрегатов энергосиловых установок мобильных аппаратов.

Выводы

Существующие реактивные, электро-реактивные и использующие энергию и вещество ядерных реакций транспортные средства и космические аппараты, имеющие малый радиус действия, пригодны только для исследования и освоения ближнего космоса. Кроме того, они могут оказывать негативное воздействие на персонал и экологию.

Электродинамические движители, преобразующие электромагнитную энергию в силу тяги, движущую транспортное средство или космический аппарат, не расходуют рабочее вещество, не дают вредных выбросов и отходов, негативно воздействующих на персонал и экологию.

Источники электроэнергии для электродинамических движителей и жизнеобеспечения космических аппаратов, преобразующие энергию электронного взаимодействия

в электроэнергию не расходуют топливо, не образуют вредные выбросы и отходы и могут безостановочно работать десятки лет до естественного физического старения изоляции, электродов, контактов, комплектующих, энергосиловых узлов и агрегатов.

Показана возможность образования векторов плотности электрических, магнитных и электромагнитных сил за счет объемной плотности энергии электромагнитного процесса, которую можно использовать и для создания электродинамической тяги, движущей транспортное средство в космическом пространстве в направлении вектора силы.

Показаны способы создания электродинамического вектора импульса силы путем взаимодействия соответствующих векторных и скалярных электрических и магнитных величин электромагнитного процесса, даны рекомендации для их практического осуществления и приведено техническое решение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Плазменный двигатель с замкнутым дрейфом электронов: патент RU №2024785, 15.12.1994.
2. Плазменно-ионный комбинированный воздушно-реактивный двигатель: патент RU №2397363, 20.08.2010
3. Казьмин Б.Н., Трифанов И.В. Электродинамический движитель: патент RU №2453972 бюл. №17, 20.06.2012.
4. Казьмин Б.Н. Способ производства энергии, патент RU №2262793 бюл. №29, 20.10.2005
5. Казьмин Б.Н., Трифанов И.В. О возможности перехода энергии электронного взаимодействия в энергию электромагнитного процесса // Альтернативная энергетика и экологии. ISSN №1608 – 8298. – №2. – 2012
6. Казьмин Б.Н., Трифанов И.В. Об электронном генераторе электроэнергии // Вестник СибГАУ ISSN 1816–9724. – Вып. 1(34). – Красноярск, 2011.
7. Казьмин Б.Н., Трифанов И.В. О возможности создания электронного источника электроэнергии // Вестник СибГАУ ISSN 1816–9724. – вып. 2(35). – Красноярск, 2011.
8. Шимони К. Теоретическая электротехника, – М.: «Мир», 1964.
9. Гольдфайн И.А. Векторный анализ и теория поля, – М.: Физматгиз, 1962.
10. Сена Л.А. Единицы физических величин и их размерности. – М.: Наука. – 1977.

УДК 004.8-681.3.07

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ПРОЦЕССА САМООБУЧЕНИЯ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ МЕТОДОМ ХЕББА ОТ ВЕЛИЧИНЫ КОЭФФИЦИЕНТА СКОРОСТИ ОБУЧЕНИЯ

Капля В.И., Чернуха В.В.

ФГБОУ ВПО «Волжский политехнический институт (филиал) Волгоградского государственного
технического университета», Волжский, e-mail: kaple@volpi.ru

Исследуется влияние коэффициента скорости самообучения на значения выходного сигнала нейронной сети. Для численного исследования используется алгоритм самообучения Хебба. Введена мера степени завершенности процесса самообучения. Установлено, что завышенные значения скорости обучения приводят к ошибочному объединению некоторых классов распознаваемых объектов.

Ключевые слова: алгоритм самообучения Хебба, нейронная сеть, коэффициент скорости обучения

NUMERICAL INVESTIGATION OF DEPENDENCE OF SELF-TRAINING PROCESS BY THE HEBBIAN METHOD FOR NEURAL NETWORKS FROM MAGNITUDE OF A LEARNING SPEED FACTOR

Kaplya V.I., Chernukha V.V.

Volzhsy Polytechnical Institute (branch) VSTU, Volzhsky, e-mail: kaple@volpi.ru

There are study the influence of speed self-learning factor on the value of the output signal of the neural network. For the numerical algorithm is used Hebbian self-learning algorithm. Introduced a measure of the degree of completion of the self-learning process. It is established that the overestimated values of the training speed lead to erroneous unification of certain classes for observed object.

Keywords: Hebbian learning algorithm, neural network, the ratio of the speed of learning

Разработка интеллектуальных алгоритмов работы сложных систем является актуальной задачей современной инженерии, позволяющей создавать эффективные научные, промышленные и бытовые системы. Примерами таких систем являются автоматизированные системы управления промышленными и научными установками, цифровая телефония и офисная техника. В настоящее время известно множество интеллектуальных процедур управления, одной из которых является алгоритм самообучения нейронных сетей (НС) Хебба [1]. Представление управляющей системы в виде нейронной сети удобно в тех случаях, когда входная информация представляет собой параллельный поток или взаимосвязанную последовательность множества данных.

Целью исследования являлось определение параметров самообучения, обеспечивающих минимальное время обучения при сохранении заданного качества распознавания входных сигналов. Процедуры обучения нейронных сетей представляют собой правила, по которым изменяются весовые коэффициенты связей между нейронами. В процессе обучения нейронная сеть приобретает свойство формировать выходные сигналы соответствующие входным сигналам и позволяющие различать разные входные сигналы. Процесс обучения представляет собой циклическое повторение процедуры обучения до достижения

заданного уровня правильности ответов. Количество повторов процедуры обучения в большинстве алгоритмов обучения определяется коэффициентом η , на который умножаются величины поправок весовых коэффициентов, вычисленных в соответствии с алгоритмом обучения. Этот коэффициент называют скоростью обучения [1], и он отражает неопределенность алгоритма обучения. Во многих случаях этот коэффициент определяется экспериментально, так как он зависит и от параметров нейронной сети и от параметров распознаваемых сигналов. Слишком малые значения коэффициента η приводят к большому числу повторений цикла обучения, большие значения коэффициента приводят к потере устойчивости процесса обучения и невозможности достичь заданного качества обучения.

Алгоритм самообучения нейронных сетей (НС) Хебба основан на принципе усиления связи между возбужденными нейронами. Сигнальный метод обучения Хебба корректирует весовые коэффициенты НС в соответствии со следующими формулами [1]:

$$\delta_{i,j}^{(n)} = y_i^{(n-1)} \cdot y_j^{(n)},$$

$$W_{i,j}^{(n)}(t) = W_{i,j}^{(n)}(t-1) - \eta \cdot \delta_{i,j}^{(n)},$$

где $y_j^{(n)}$ – выходной сигнал обучаемого нейрона, $y_i^{(n-1)}$ – выходной сигнал нейрона предыдущего слоя, который является одним из входных сигналов обучаемого нейрона,

η – коэффициент скорости самообучения, t – номер шага обучения, n – номер слоя НС, i, j – номера нейронов, $W_{i,j}^{(n)}(t)$ – весовой коэффициент связи выхода i -го нейрона с входом j -го нейрона. В приведенных соотношениях не используется отрицательная обратная связь для ограничения роста весовых коэффициентов, что допустимо в случае проводимого исследования. Из формулы видно, что наибольшие изменения претерпит та синаптическая связь, которая соединяет большие входные и выходные сигналы. В матричной форме данный алгоритм можно записать в следующем виде [2]:

$$\delta_p^{(1)} = X_p \cdot Y_p^{(1)T}, \Delta W^{(1)} = -\eta \cdot \sum_p \delta_p^{(1)},$$

$$W^{(1)}(t) = W^{(1)}(t-1) + \Delta W^{(1)},$$

$$\delta_p^{(n)} = Y_p^{(n-1)} \cdot Y_p^{(n)T}, \Delta W_p^{(n)} = -\eta \cdot \sum_p \delta_p^{(n-1)},$$

$$W^{(n)}(t) = W^{(n)}(t-1) + \Delta W^{(n)}.$$

Нейронная сеть Хебба самостоятельно определяет количество классов, на которые она разбивает поток обучающей выборки. В конце процесса обучения выходные сигналы нейронов выходного слоя должны иметь состояния близкие либо плюс едини-

це, либо минус единице. Фактически, на выходе НС в конце обучения формируется двоичный код. Количество выходных линий НС должно браться с запасом, поскольку заранее количество классов неизвестно, при этом следует учитывать, что классы кодируются на выходе *позиционным* двоичным кодом.

Численное исследование процесса самообучения НС методом Хебба было основано на имитационной модели самообучающейся НС, которая должна решать задачу классификации заданного множества изображений нескольких символов. Каждому символу соответствует несколько несовпадающих между собой изображений, приведенные на рис. 1. Разрешение изображений: 10х6. Параметры НС имели следующие значения: количество слоев – 3, количество входов первого слоя – 60, количество нейронов по слоям – 16, 12, 5, начальная скорость обучения – 0,0005. Активационная функция нейронов представляла собой сигмоиду [1]. В качестве обучающей выборки были взяты 9 изображений трех цифр, приведенные на рис. 1. Начальные значения весовых коэффициентов задавались случайно, по равномерному закону распределения. Изображения каждой цифры отличаются за счет наложенных искажений. Классификация данных изображений для человека не вызывает трудностей.



Рис. 1. Обучающая выборка

В качестве параметра для критерия завершения процесса самообучения использовалась величина разности числа выходов НС и минимума модуля выходных сигналов.

$$\varepsilon_i = N_c - \min_{p \in \{1..N_R\}} (Y_{p,i} \cdot Y_{p,i}),$$

где N_c – число выходов НС, равное числу бит выходного кода, p – номер изображения, $Y_{p,i}$ – выходной сигнал НС для p -го изображения на входе НС, i – номер шага

самообучения. Критерий завершения процесса самообучения состоял в том, что при $\varepsilon_i < \varepsilon_{\text{пороговое}}$ процесс самообучения завершался. В рассматриваемом примере число шагов самообучения не превышало 500. На рис. 2 показан процесс изменения модуля выходного сигнала $R_{p,i} = Y_{p,i} \cdot Y_{p,i}$ для одного из входных сигналов (изображений) в процессе самообучения НС для различных коэффициентов скорости самообучения η .

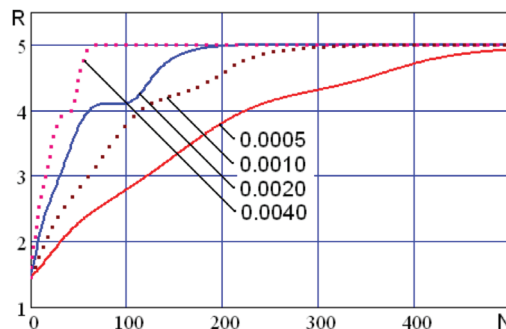


Рис. 2. Зависимость модуля выходного сигнала НС от номера шага обучения при различных значениях коэффициента скорости обучения η

В результате самообучения на выходе НС сформировалось множество выходных сигналов, представленное на рис. 3. Каждый столбик приведенной диаграммы представляет

собой число, соответствующее 5-битовому числу от 0 до 31, получаемому на выходе НС, если считать, что каждый выход соответствует определенному разряду двоичного кода числа.

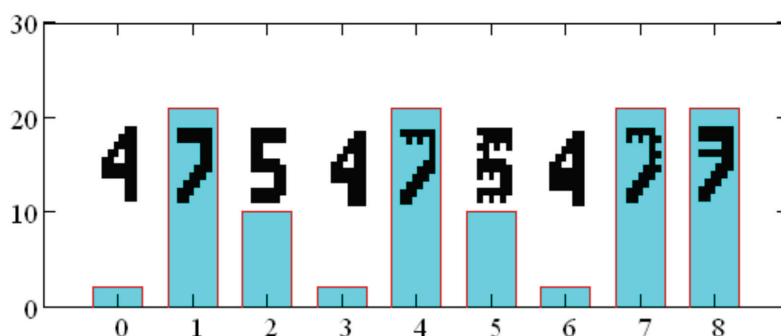


Рис. 3. Множество выходных кодов и соответствующие символы на входе НС

Сопоставление рис. 1 и 3 позволяет сделать заключение, что нейронная сеть правильно осуществляет классификацию изображений цифр для использованных изображений. Столбики 1, 4, 7 соответствуют различным вариантам изображения цифры «4», столбики 2, 5, 8 – изображения цифры «7», столбики 3, 6 – изображения цифры «5».

Варьирование в процессе численного моделирования коэффициента скорости самообучения η в пределах 0,0005-0,0040 позволило установить, что при величинах $\eta \geq 0.0030$ число разных выходных кодов уменьшается с 3 до 2, то есть нейронная сеть перестает различать два разных символа. Для диапазона $0.0030 > \eta \geq 0.0005$ изменений выходного кода отмечено не было.

Успешность самообучения зависит от начальных значений матриц весовых коэффициентов. В результате численных экспериментов было установлено, что число классов, определяемых нейронной сетью для неизменной группы распознаваемых изображений для разных случайных начальных значений весовых матриц W может

быть и завышенным или заниженным относительно числа, установленного экспертом.

Распознавание группы символов в условиях, когда заранее не известно их количество, требуется в задачах автоматического чтения текстов и схем на этапе установления численности символов используемого алфавита.

Из приведенных результатов можно сделать следующие выводы:

Коэффициент скорости самообучения НС по алгоритму Хебба влияет на количество различных выходных кодов: увеличение скорости самообучения выше некоторого порога приводит к уменьшению количества распознаваемых классов.

Коэффициент скорости самообучения НС не влияет на численные значения выходных двоичных кодов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс. – М.: «Вильямс». – 2006. – 1104 с.
2. Капля В.И. Системы искусственного интеллекта: учебное пособие. – Волгоград: ИУНЛ ВолгГТУ. – 2011. – 97 с.

УДК 656.13:338.47

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ МАШИН В РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ РАБОТЫ ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ

Кравченко И.Н., Мясников А.В., Шайбаков Р.Р., Гладков В.Ю.

ФГБВОУ ВПО «Военно-технический университет», Балашиха, e-mail: kravchenko-in71@yandex.ru

В настоящее время значительная часть федеральных автодорог в России имеют высокую степень износа и исчерпали свою пропускную способность. Постоянные заторы, особенно в крупных городах, значительно снижают скорости движения, что резко увеличивает транспортные издержки. Решение этой проблемы возможно только путем масштабного строительства новых и реконструкции существующих автодорог, осуществляемого дорожно-строительными организациями. В свою очередь, высокоэффективная деятельность таких организаций в настоящее время может быть обеспечена только с использованием высокопроизводительной современной техники, работоспособность которой необходимо поддерживать на возможно больший период эксплуатации. В настоящее время в условиях строительства линейно-протяженных объектов эксплуатации специализированной техники осуществляется на базе парков. В статье разработан алгоритм формирования парка специализированных машин по критерию минимума стоимости единицы объема дорожно-строительных работ. Предложено экономическое обоснование выбора типа «приобрести в парк новую машину или продолжать эксплуатировать имеющуюся» на основе математических методов.

Ключевые слова: парк специализированных машин, возраст дорожно-строительных машин, надежность дорожно-строительной техники, математические методы

EFFECTIVE USE OF SPECIALIZED MACHINES FOR DIFFERENT ENVIRONMENTS AND ROAD COMPANIES

Kravchenko I.N., Miasnikov A.V., Shaibakov R.R., Gladkov V.Y.

Federal State military institution of higher education «Military-Technical University», Balashikha, e-mail: kravchenko-in71@yandex.ru

A significant part of the federal highways in Russia have a high degree of wear and have exhausted their capacity. Persistent congestion, especially in large cities, significantly reduce the speed, which dramatically increases the transport costs. The solution of these problems is possible only through large-scale construction of new and reconstruction of existing roads, ongoing road construction companies. High activity of construction organizations can currently only be achieved with the use of modern high technology, performance of which can be maintained at a longer period of operation. Currently under construction are linearly extended objects operation of road construction and specialized equipment is based on the parks. The article describes an algorithm of forming of specialized machines park by a minimum unit cost of construction. Proposed economic rationale for the selection of the «get to the park a new machine or continue to operate the existing» using mathematical methods.

Keywords: park of specialized machines, obsolescence of road machinery, reliability of road construction equipment, mathematical methods

При формировании парков специализированной техники наряду с обеспечением количественного состава необходимо учитывать её нормальное функционирование при заданных условиях эксплуатации. Причем, затраты на поддержание техники в исправном состоянии должны быть минимальны при условии выполнения дорожно-строительных работ в полном объеме и в заданные сроки.

В сложившейся ситуации, когда существующие комплекты машин устарели, и при этом отсутствуют возможности полной замены машин, на первое место выходят технические и экономические критерии оптимизации парков [2, 3]. Себестоимость производства единицы объема работ позволяет учесть все затраты, связанные с поддержанием парка техники в работоспособном состоянии, затраты, учитывающие потери из-за внезапного отказа и срыва графика производства работ, амортизационные отчисления, а также затраты, связанные

с производством работ в сложных грунтовых и климатических условиях [4].

В дорожном строительстве в качестве единицы объема работ удобно использовать 1 м³ земляных работ, 1 м² дорожного покрытия, либо 1 км построенной дороги.

В тех случаях, когда доля работ по устройству дорожных одежд является доминирующей (при строительстве дорог в нулевых отметках, в равнинной местности), за единицу объема работ можно принять стоимость 1 километра дороги. В этом случае можно составить целевую функцию по критерию минимума доли затрат на техническое обеспечение себестоимости дорожно-строительной продукции:

$$C_{1\text{км}}^{\text{дор}} = C_M + C_{\text{маш}}^{\text{нов}} + C_{\text{маш}}^{\text{им}} \longrightarrow \min, \quad (1)$$

где C_M – стоимость материалов в 1 км дороги; $C_{\text{маш}}^{\text{нов}}$ – затраты на эксплуатацию новых машин в парке; $C_{\text{маш}}^{\text{им}}$ – затраты на эксплуатацию уже имеющихся в парке дорожно-

строительных машин со средним уровнем износа.

Целевая функция (1) отражает влияние возраста техники на стоимость единицы объема дорожно-строительных работ и позволяет экономически обосновать соотношение новых и поддержанных машин в формируемом парке.

В процессе решения проблемы комплектования парков строительных машин существует необходимость построения многоступенчатой иерархической системы взаимосвязанных математических моделей. Для построения математической модели формирования парков специализированной техники можно предположить, что известны предполагаемые физические объемы работ, их технологическая структура, номенклатура средств механизации, необходимых для выполнения работ, затраты на обслуживание и выработка каждой конкретной машины [5]. Для оптимизации решений необходимо выработать некоторый алгоритм комплектования парков техники при следующих данных:

- известны основные показатели по каждой единице техники (наработка, возраст, технические характеристики);

- установлен минимально допустимый уровень технической готовности для каждого типоразмера машин;

- определены удельные затраты на единицу наработки каждой машины.

Требуется определить, какие типоразмеры машин и в каком количестве нужно иметь, чтобы затраты на выполнение всего планируемого объема работ были минимальными. Алгоритм определения оптимального парка техники приведен ниже.

Прогнозируются объемы работ на строительных площадках. Объектам присваивается собственный порядковый номер, по которому производится подбор парка машин. По возможности объемы планируемых работ должны рассчитываться по нескольким методикам с учетом факторов нестабильности рынка и нормальных рисков.

Выбирается исходный типоразмерный ряд машин таким образом, чтобы исключить или свести к минимуму простой машины на базе механизации, т.е. ведущая машина должна быть полностью укомплектована вспомогательными машинами. Необходимо выявить определяющие параметры для сопоставления техники, после чего найти зависимость между определяющими параметрами, и составить графики кривых равной эффективности.

Устанавливается усредненная годовая выработка машин, определяемая по формуле:

$$B_{ij} = \sum_{j=1}^n B_{rij} p_{ij}, (i = 1, 2, \dots, m), \quad (2)$$

где B_{rij} – годовая выработка i -го типоразмера машин на j -м объекте; p_{ij} – априорная вероятность использования i -го типоразмера машин на j -м объекте.

Вычитаем из годовой выработки машины объем работ на объекте и производим анализ выполнения следующих условий:

- если годовая выработка меньше планируемого объема работ на объекте ($B_{ij} - V_j < 0$), то машина исключается из расчета по данному объекту.

- если годовая выработка больше планируемого объема работ на объекте ($B_{ij} - V_j \geq 0$), то расчет продолжается дальше.

Рассчитывается продолжительность работ машины i -го типоразмера:

$$n_{ij} = V_j / P_{ij}, \quad (3)$$

где V_j – объем работ на объекте, м³; P_{ij} – производительность машины в данных условиях на j -м объекте, м³/смена.

Производится сравнение продолжительности работ с требуемой (заказчиком или по графику производства работ). При этом машины, продолжительность работы которых превышает требуемые показатели, исключаются из расчета. Если продолжительность работ жестко не ограничена, то в исходных данных указывается «продолжительность 365» и все машины попадают в расчет:

$$n_j^{\text{пл}} - n_{ij} \geq 0, \quad (4)$$

где $n_j^{\text{пл}}$ – плановая продолжительность работ на j -м объекте, дни; n_{ij} – расчетная продолжительность работ выполняемых i -й машиной на j -м объекте, дни.

Для рассмотрения технологических резервов составляется модель выполнения работ на объекте, исходя из различных возможных технологических схем производства работ (рис. 1). При этом входными критериями являются технические характеристики машины, характеристики условий производства работ, максимальные пути перемещения техники при производстве работ, дополнительные условия, ограничивающие производительность (стесненность, условия экологической, пожарной безопасности и т.д.). Выходными показателями являются продолжительности работ и возможные резервы времени.

Определение удельных затрат y_{ij} (руб./м³ или руб./км) на выполнение работ по формуле:

$$y_{ij} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \frac{(C_{ij} \cdot X_{ij} \cdot k_{ii} \cdot k_{vi} \cdot k_{ri})}{V_j} \rightarrow \min, \quad (5)$$

где C_{ij} – совокупные затраты на эксплуатацию, обновление и ремонт на ед. объемов работ; X_{ij} – количество машин i -го типа-размера; k_{ii} – коэффициент, учитывающий влияние температуры на удорожание работ;

k_{vi} – коэффициент, учитывающий влияние возраста техники на стоимость эксплуатации; k_{ri} – коэффициент, учитывающий влияние условий эксплуатации и структуры работ; V_j – объем работ на объекте.



Рис. 1. Выбор машин исходя из требований продолжительности работ

Далее необходимо определить затраты на обновление техники с минимальными потерями для эксплуатирующих организаций. Для решения этой задачи необходимо произвести сравнение экономической эффективности того или другого варианта развития событий, т.е. приобрести новую машину или эксплуатировать старую. Это может быть выполнено путем выбора минимальных затрат, приведенных к единице объемов работ:

$$y_{ij} = \frac{\frac{\tilde{N}_{ij}^H \cdot k_{ii} \cdot k_{vi} \cdot k_{ri}}{V_j}}{\frac{C_{ij} \cdot k_{ii} \cdot k_{vi} \cdot k_{ri}}{V_j}} \rightarrow \min, \quad (6)$$

где $C_{ij}^H \cdot k_{ii} \cdot k_{vi} \cdot k_{ri}$ – стоимость эксплуатации новой машины; $C_{ij} \cdot k_{ii} \cdot k_{vi} \cdot k_{ri}$ – стои-

мость эксплуатации имеющейся в парке машины.

Коэффициент, учитывающий влияние температуры на удорожание работ k_{ri} , определяется исходя из следующих предпосылок. Пусть время, затрачиваемое на подготовку исправной машины к работе и достижения ею рабочих параметров при температуре t , окружающего воздуха в январе для данного региона составляет T часов, а в феврале при t_1 равна T_1 . Тогда, составив график для данного региона, можно вывести зависимость изменения времени достижения машиной рабочих параметров от температуры окружающего воздуха. При этом для новых машин, для которых отсутствуют данные, можно использовать графики от машин, оснащенных подобным силовым оборудованием и рабочими органами. Наиболее простым является метод соотношения затрат на ремонт и техническое обслуживание от температуры и времени года (рис. 2).

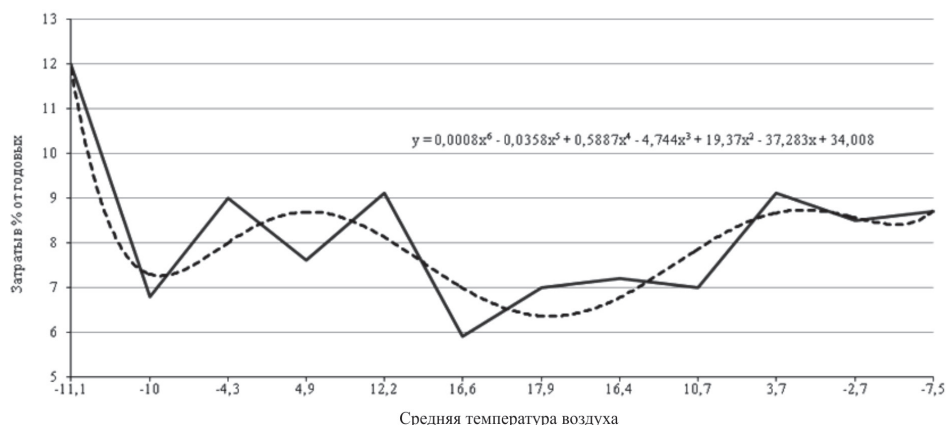


Рис. 2. Зависимость затрат на ТО и Р экскаваторов от времени года

Построив диаграмму, получаем уравнение для определения значения коэффициента от температуры:

$$k_{ti} = (1 + y/100) = 8 \cdot 10^{-6} x^6 - 35,8 \cdot 10^{-5} x^5 + 58,87 \cdot 10^{-4} x^4 - 47,44 \cdot 10^{-3} x^3 + 19,37 \cdot 10^{-2} x^2 - 37,283 \cdot 10^{-2} x + 1,34008.$$

В качестве альтернативы может быть применен метод прогнозирования отказов из-за воздействия низких температур на различные системы.

Коэффициент, учитывающий влияние возраста техники на стоимость эксплуатации k_{vi} , определяем по формуле:

$$k_v = \frac{n_{отк} + n_{год}}{n_{год}}, \quad (8)$$

где $n_{отк}$ – количество дней простоя из-за отказов в год (определяется путем анализа статистических данных, либо по МДС 12-13.2003); $n_{год}$ – количество рабочих дней в году.

Коэффициент, учитывающий влияние условий эксплуатации и структуры работ k_{ri} , определяем следующим образом.

При работе машин в однородных условиях и соблюдении правил эксплуатации и текущего обслуживания для получения прогнозных оценок возможно применение теоремы П.Л. Чебышева, когда среднеарифметическое достаточно большого числа случайных величин утрачивает характер случайности, но при этом должно выполняться условие:

$$n \geq D(x)/\xi^2 (1 - P_d(t)), \quad (9)$$

где $D(x)$ – дисперсия прогнозируемой величины; ξ – допустимая ошибка прогноза; $P_d(t)$ – доверительная вероятность; n – число воспроизведений события.

Если режимы нагружения меняются в процессе работ на объекте, но при этом выполняется условие (9), то отказ рассчитывается как результат суммарного воздействия.

Однако при реальной эксплуатации воздействие различных факторов достаточно неоднородно, поэтому целесообразно применение метода предельных потоков [1]. Согласно центральной предельной теореме, закон распределения суммы достаточно большого числа независимых случайных величин при соблюдении некоторых нежестких ограничений сколь угодно близок к нормальному. Предельными являются также законы Пуассона и Вейбулла-Гнеденко. Если не выполняются все рассмотренные условия, возможно построение мгновенного закона распределения, характеризующий объект прогнозирования в конкретных условиях, при помощи существующих программных средств.

Пусть в сложных условиях работало M машин, а в облегченных эксплуатацион-

ных условиях – N (все машины одного типа, мощности и т.д.). При этом за сложные принимаются условия, которые отличаются от условий, когда производительность машин максимальна, а нагрузка на узлы и системы соответствует расчетной. В результате в M машинах за единицу времени произошло m отказов, а в другой группе – n . Тогда вероятность отказа машин парка техники при работе в тяжелых грунтовых условиях будет выражаться следующим образом:

$$P(t) = \frac{m}{m+n}. \quad (10)$$

Для решения задачи необходимо определить, какова вероятность того, что в процессе эксплуатации отказ в тяжелых условиях произойдет хотя бы один раз:

$$P(S_R = x) = C_k^x \cdot p^x \cdot (1-p)^{k-x}, \quad (11)$$

где k – общее число испытаний; x – число появления события; p – вероятность появления события; C – число сочетаний событий.

Подставив значения, получим, что вероятность хотя бы одного отказа в сложных условиях равна:

$$P(S_k = 1) = C_k^1 \cdot \left(\frac{m}{m+n} \right)^1 \cdot \left(1 - \frac{m}{m+n} \right)^{k-1}. \quad (12)$$

Так как специализированный парк состоит из различных типов техники, необходимо быть уверенным, что все машины будут исправны и не произойдет срыва работ. Для этого определяем математическое ожидание случайной величины, которое будет выражаться следующим образом:

$$M(t) = x_1 \cdot P_1 + x_2 \cdot P_2 + \dots + x_n \cdot P_n, \quad (13)$$

где x_n – значение, принимаемое случайной величиной; P_n – вероятность появления.

Очевидно, что согласно условиям задачи, выражение (13) примет вид:

$$M(t) = P_1 + P_2 + \dots + P_n. \quad (14)$$

Зная вероятности появления отказов у того или иного типа машин, можно вывести коэффициенты k_{ri} . Делаем следующие предпосылки и ограничения:

– число испытаний k не превышает 365 (число дней в году);

– максимальное число появления события X (отказов) находится в пределах $1 \leq X \leq 365$;

– коэффициент k_{ri} находится в пределах $1 \leq k_{ri} \leq 2$ (здесь 1 – не произошло ни одного отказа и дополнительные затраты не потребуются, 2 – произошло 365 отказов, и машина простояла в ремонте весь год).

Тогда для вычисления коэффициента необходимо решить систему уравнений:

$$k_{ri} = \begin{cases} 1, P(S_{365} = 0) = C_{365}^0 \cdot p^0 \cdot (1-p)^{365-0} \\ k_r, P(S_k = x) = C_k^x \cdot p^x \cdot (1-p)^{k-x} \\ 2, P(S_{365} = 365) = C_{365}^{365} \cdot p^{365} \cdot (1-p)^{365-365} \end{cases}. \quad (15)$$

Решая эту систему, получим:

$$k_{ri} = \frac{2 \cdot C_k^x \cdot p^x \cdot (1-p)^{k-x}}{p^{365}}. \quad (16)$$

При определении коэффициента следует учитывать, что за отказ принимается неисправное состояние машины. Если отказ не был устранен за один день, то он переходит на другой день, т.е. x будет равняться 2 и т.д.

Выбирается машина с минимальными удельными затратами по выполнению объемов работ на объекте.

Машина ставится на обслуживание и на период работы на объекте исключается из расчета. При этом объем работ вычитается из годовой выработки для данной машины.

Производится анализ по следующему объекту (п.п. 2, 3, 4, 5, 6). При этом в расчет берутся машины, которые свободны от выполнения работ на других объектах.

После выполнения работ на одном объекте машина освобождается и снова попадает в расчет, при этом, помимо удельных затрат, сравниваются остаточные ресурсы машин (наработка).

Рассчитываются суммарные затраты на выполнение всего объема работ.

Определяются остаточные наработки для каждой машины, исключаются те из них, у которых остаточная наработка на конец расчетного периода превышает 30% и производится повторный расчет. Для распределения машин во времени используется счетчик машино-смен, который позволяет строить календарный график эксплуатации машин, что в свою очередь облегчает планирование и проведение ТО и Р техники.

Определяются минимумы приведенных затрат для i -го типоразмера при работе на j -м объекте по формуле:

$$y_{ij} = \frac{\sum_{i=1}^n (C_{ij} \cdot X_{ij} \cdot k_{ti} \cdot k_{vi} \cdot k_{ri})}{V_j} \rightarrow \min, \quad (17)$$

где C_{ij} – совокупные затраты на эксплуатацию, обновление и ремонт; X_{ij} – количество машин i -го типоразмера; k_{ti} – коэффициент влияния температуры на удорожание работ; k_{vi} – коэффициент влияния возраста техники на стоимость эксплуатации; k_{ri} – коэффициент влияния условий эксплуатации и структуры работ; V_j – объем работ на объекте.

Вычисляются оптимальные объемы работ, выполняемые каждым типоразмером машин. При этом объем работ должен быть выполнен полностью на каждом участке, своевременно и с минимальными затратами. Для решения этой задачи можно воспользоваться одним из численных методов, например, методом дефектов.

Производится уточненный расчет эксплуатационных затрат и выбирается оптимальный парк техники с минимальными показателями.

При необходимости производится повторный расчет с включением новых машин и оборудования или замены одних машин другими многофункциональными.

Таким образом, вышеизложенный алгоритм позволяет учитывать природно-климатические, экономические и возрастные факторы, увеличивающие затраты на эксплуатацию парка специализированной техники.

Выводы

1. В настоящее время парки дорожно-строительных организаций комплектуются специализированными машинами с разным техническим состоянием, возрастом и техническими характеристиками. Этот факт серьезно отражается на продолжительности, сложности и на стоимости строительства федеральных автодорог.

2. Предложенный в работе алгоритм позволяет оптимизировать состав парков по критерию минимума стоимости единицы объема работ с учетом старения машин, условий эксплуатации и структуры выполняемых работ, в результате чего существенно увеличится эффективность работы дорожно-строительных организаций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кравченко И.Н., Мясников А.В., Шайбаков Р.Р. Методика выбора критериев оптимизации при формировании парков дорожно-строительной техники // Материалы VIII международной научно-практической конференции. – София: «Бял ГРАД-БГ», 2012. – С. 58.–70.
2. Кравченко И.Н., Мясников А.В., Шайбаков Р.Р. Оптимизация мобильных парков специализированных машин с учетом региональных особенностей строительства автомобильных дорог // Фундаментальные исследования. – 2013. – №4 (часть 3). – С. 575 – 579.
3. Кравченко И.Н., Мясников А.В., Шайбаков Р.Р. Организация технического сервиса специализированных машин и их рабочего оборудования // Строительные и дорожные машины. – 2013. – №1. – С. 30 – 36.
4. Кравченко И.Н., Мясников А.В., Шайбаков Р.Р. Рациональное использование мобильных парков дорожно-строительных машин при строительстве и реконструкции федеральных автодорог // Строительные и дорожные машины. – 2013. – №3. – С. 20 – 24.
5. Прохоров С.В., Ким Б.Г. Инновационный подход к формированию парков техники строительных организаций: монография // Инновации в строительстве и архитектуре. – ВлГУ, 2011. – С. 168 – 184.

УДК 624.13.002.5

МЕТОДИКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ НАВЕСНОГО СМЕННОГО ГРУНТОУПЛОТНЯЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ В СТЕСНЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Кравченко И.Н., Салаяев С.И., Марковчин С.Г., Салаяев Н.И.

ФГБВОУ ВПО «Военно-технический университет», Балашиха, e-mail: kravchenko-in71@yandex.ru

В процессе уплотнения свойства среды постоянно изменяются, что требует изменения режимов работы навесного грунтоуплотняющего оборудования и своевременной смены его типа в зависимости от места применения. Основное правило уплотнения – это постепенное повышение контактных давлений, которые не должны превышать предела прочности грунта. При несоблюдении этого условия происходит разрушение структуры грунта, что вызывает формирование призмы волочения, неравномерную плотность по глубине и появление волнистой поверхности. Это приводит к дополнительным работам и затратам времени. На основании проведенных теоретических и экспериментальных исследований разработаны практические рекомендации и даны технические предложения по выбору конструктивных и кинематических параметров рабочих органов навесного сменного оборудования для уплотнения грунтов обратных засыпок до требуемой плотности с учетом постоянно изменяющихся свойств среды.

Ключевые слова: навесное грунтоуплотняющее оборудование, пневмошины, вибротрамбовки, рабочие органы, эксплуатационная производительность, конструктивные элементы

THE METHOD IS EFFECTIVE ATTACHMENT OF REMOVABLE EQUIPMENT SOIL COMPACTION IN CONFINED AREAS

Kravchenko I.N., Salyaev S.I., Markovchin S.G., Salyaev N.I.

Federal State military institution of higher education «Military-Technical University», Balashikha, e-mail: kravchenko-in71@yandex.ru

In the process of sealing properties of the environment are constantly changing, which requires the change of operating modes of attached soil compacting equipment and timely change of its type depending on the place of application. The basic rule of the seal is the gradual increase of contact pressures, which should not exceed the tensile strength of the soil. At non-observance of this condition is the destruction of the structure of soil, which causes the formation of prism drawing, uneven density by depth and the emergence of a wavy surface. This leads to extra work and time wasting. On the basis of theoretical and experimental research and practical recommendations are given the choice of technical proposals for the design and kinematic parameters of working bodies mounted interchangeable equipment for ground ramming reverse fillings to the required density with the constantly changing properties of the medium.

Keywords: attachments sealing equipment, pneumatic tires, rammers, working bodies, operational performance, structural elements

В практике производства работ широкое применение получил метод уплотнения насыпных оснований слоями ограниченной толщины (последовательное уплотнение) [2]. Поэтому необходимо правильно подобрать соотношения параметров и режимов работы навесного пневмошинного оборудования, которые зависят от физико-механических свойств грунта и его состояния, определяемый коэффициентом уплотнения K_y . Поставленная задача решается путем определения геометрических параметров (размеров) пневмошин с использованием разработанных моделей взаимодействия рабочих органов с различными видами грунтов [3, 4].

Предлагаемая методика включает в себя расчет основных параметров пневмошин, осуществляемый в последовательности, представленной в виде взаимосвязанных этапов.

Этап 1. Тяговый расчет рабочего оборудования базовых машин.

Сопротивление качению пневмошин W_f обуславливается главным образом

деформацией грунта и по своему удельному значению является наибольшим:

$$W_f = f_1 G, \quad (1)$$

где G – максимальный вес оборудования; f_1 – максимальное значение коэффициента сопротивления качению вальцов катка при первом проходе по рыхлому грунту

$$f_1 = \frac{T}{G} = \frac{nh^2bc}{\pi D} \left(\frac{1}{3} + \frac{a}{2} \right), \quad (2)$$

где T – сила тяги, кг; D – диаметр колеса, м; n – число кулачков; b , a – соответственно ширина и длина опорной поверхности кулачка, м; h – высота кулачка, м; c – коэффициент деформации грунта, кгс/см² ($c = 0,1 \dots 1,0$ – для очень рыхлого грунта; $c = 0,1 \dots 1,0$ – для рыхлого грунта).

Сопротивление движению на уклон определяется:

$$W_h = i G, \quad (3)$$

где i – уклон в долях единицы ($i_{\max} = 0,1$); G – вес катка, кг.

При работе катка общее сопротивление движению составит:

$$\sum W = G (f + i). \quad (4)$$

При трогании на рыхлом грунте и предельном подъеме, кроме перечисленных сопротивлений, будет возникать сопротивление W_j преодолению сил инерции

$$W_j = \frac{x}{g} G \frac{dv}{dt}, \quad (5)$$

где x – коэффициент учета вращающихся масс; v – скорость движения, км/ч; t – время, с; g – ускорение силы тяжести, м/с².

Полагая, что оборудование движется равноускоренно, получим:

$$W_j = \frac{xv}{g} G \frac{1}{t}, \quad (6)$$

где t – время разгона, принимаемое равным $t = 2-3$ с.

С учетом преодоления сил инерции общее сопротивление движению:

$$\sum W'' = W_f + W_h + W_j. \quad (7)$$

Для навесного оборудования необходимо располагать тяговой характеристикой рукояти экскаватора, управляемой гидроцилиндром. По ней необходимо определить силу тяги, соответствующую максимальной тяговой мощности:

$$T_{N_m} \cong \sum W.$$

С учетом сил инерции оборудования необходимо соблюдение условия

$$T_{\text{дmax}} \geq W''.$$

Эксплуатационная производительность определяется:

$$P_3 = \frac{L(B-A)H_p K_b}{\left(\frac{L}{v} + tn\right)}, \quad (8)$$

где L – длина уплотняемого участка, м; B – ширина укатываемой полосы, м; A – величина перекрытия, принимаемая равной $A = 0,2$ м; v – рабочая скорость катка, м/ч; H_p – толщина слоя грунта в плотном теле (материале), м; $t = 0,02$ ч – время, затрачиваемое на разворот экскаватора в конце участка; n – необходимое число проходов катка; $K_b = 0,80-0,85$ – коэффициент использования рабочего времени.

Этап 2. Расчет навесного грунтоуплотнительного оборудования.

Проектирование навесного пневмоколесного оборудования на базе типовых пневмошин с расчетом элементов гидропривода производим согласно разработанной методике [5], используя схему взаимодействия грунта с пневмошиной и исходные данные табл. 1 (размеры колеса Ф-10А, диаметр D_k и ширина обода B).

Таблица 1
Основные параметры пневмошинного оборудования

Параметры	Модель шины	
	Ф-10А	Ф-55
Обозначение шины (по размеру в мм)	370-506	320-508
Наружный диаметр, мм	1220	1110
Ширина профиля, мм (по центру сечения)	340	270
Максимальная нагрузка, Н	43000	23000
Давление воздуха в шине, соответствующее максимальной нагрузке, МПа	0,4 – 0,8	0,3 – 0,8
Максимальная скорость, км/ч	20	20
Масса, кг	150	90

Допускаемая нагрузка R_{max} на колесо определяется по формуле [1]:

$$R_{\text{max}} = 2aB[q_{\text{cp}}], \quad (9)$$

Приняв деформацию пневмошины $\delta = \lambda D_k$, где $[\lambda] = 0,025$, получим:

$$a\lambda = \sqrt{\lambda(1-D_k)} = 0,025^{0,5}(1-0,025)1220 = 187,9 \text{ мм.}$$

Распределение удельной нагрузки на шину будет происходить по эллиптической кривой. Из равенства площадей прямоугольника

$F_{\text{п}} = 2aq_{\text{cp}}$ и полуэллипса $F_{\text{э}} = 0,5\pi aq_{\text{max}}$ определим:

$$q_{\text{cp}} = \frac{\pi}{4}[q_{\text{max}}] = \frac{3,14}{4} \cdot 1,5 = 1,18 \text{ МПа.}$$

Определим ширину обода колеса $B = 0,3 \cdot 1220 = 366$ мм. После подстановки полученных значений a и B в формулу (9), получим: $R_{\text{max}} = 2 \cdot 187,9 \cdot 3,66 \cdot 1,18 = 1615$ кг.

Приняв с допущением $D_1 = D_k$ из теории контактных напряжений, определим параметры a и b :

$$a = b = 0,034 \sqrt[3]{D_k R_{\max}} = 0,034 \cdot 10,5 \cdot 1615 = 469,5 \text{ мм.}$$

При этом возникающее давление на поверхности пятна контакта определяется по следующей зависимости:

$$q_{\max} = \frac{1,5 R_{\max}}{\pi a b} = \frac{1,5 \cdot 1615}{3,14 \cdot 46,95^2} = 0,35 \text{ МПа.}$$

Решая совместно вышеприведенные уравнения, получим $q_{\max} \leq [q_{\max}]$. Значение давления $[q_{\max}]$ находится в пределах от 1,56 до 2,8 МПа и зависит от качества резинотехнических изделий.

Проведенные расчеты показали допустимость применения выбранной пневматической шины, хотя допускается перегрузка колес до 70% и выше. Однако перегрузка колес транспортных машин на 20–80% против нормы приводит к снижению пробега соответственно на 30–70%. При уплотнении грунтов обратных засыпок применяются пневмошины низкого давления. В области контакта одновременно деформируются колесо и поверхность покрытия. Тогда площадь пятна контакта составит:

$$W_k = c_1 R_{\max} \sqrt[3]{\frac{R_{\max}}{p r^2}} = 0,05 \cdot 7638,2 \cdot 0,27 \cdot 9,8 = 1009,4 \text{ Н.}$$

При укатывании грунта выгодно иметь большее давление p . При качении колеса по мягкому грунту сопротивление укатыванию W_k зависит от объемной деформации, определяемой коэффициентом q_0 [1]. При этом коэффициент объемной деформации q_0 устанавливается в зависимости от типа

$$F = (4,0 \dots 4,8) \cdot (\lambda_0 - 0,03) \cdot B^2 = 4,0 \cdot 0,297 \cdot 36,6^2 = 1591,3 \text{ см}^2,$$

где $B = 0,2-0,3$ – коэффициент усадки шины, показывающий, что чем больше усадка шины, тем лучше амортизируют колеса, меньше деформация грунта и удельное давление на него.

Динамическая нагрузка на колесо в шинах низкого давления на 15% больше статической и в 2,5 раза меньше, чем в шинах высокого давления. Нагрузка на колесо с пневматическими шинами низкого давления определяется по зависимости [4]:

$$R_{\max} = q \cdot F = i \cdot p \cdot F = 1,2 \cdot 4 \cdot 1591,3 \cdot 9,8 = 7638,2 \text{ кг} = 74854,4 \text{ Н.}$$

Деформацию шины находим из выражения:

$$\delta = \lambda \cdot D_k = 0,04 \cdot 122 = 4,88 \text{ см.}$$

Тогда сопротивление укатыванию будет:

грунтов (грунты обратных засыпок и укатанные грунты). Таким образом, сопротивление укатыванию будет зависеть от нагрузки, деформации и жесткости пневмошины.

Общее сопротивление укатыванию W_{Σ} при установившемся движении можно определить, используя зависимость вида:

$$W_{\Sigma} = \phi z W_k + W_k = (2 \cdot 3 \cdot 103 + 103) \cdot 98 = 721 \text{ кг} = 7065,8 \text{ Н.}$$

Этап 3. Расчет гидрооборудования базовой машины.

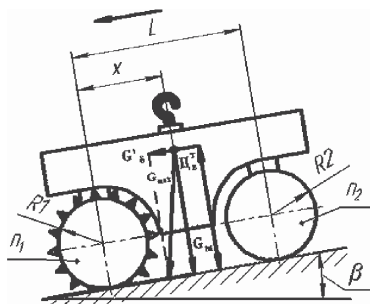
Определение энергозатрат процесса уплотнения, численное значение которых выражено зависимостью:

$$A_{\Sigma} = g W_k L n = 9,8 \cdot 618 \cdot 0,4 \cdot 3 = 7300 \text{ Дж.}$$

где W_k – сопротивление укатыванию процесса уплотнения грунта одной пневмошиной; L – длина пути колеса; n – количество колес.

Механизм поворота колеса (рис. 1) состоит из рукояти гидроцилиндра, коромысла и ведомого звена – колеса.

а



б

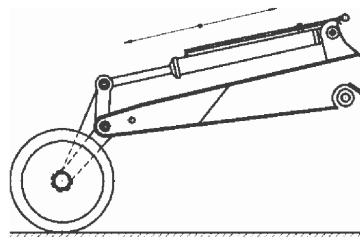


Рис. 1. Схемы грунтоуплотнительных устройств: а – навешиваемых на ковш; б – пневмошинного, смонтированного на рукояти экскаватора

Не располагая исчерпывающими результатами исследований оптимальных отношений кинематических звеньев механизма, для расчета назначим их по подобию с существующими экскаваторными конструкциями: длина коромысла – 1200 мм; длина большого плеча коромысла – 900 мм, длина малого плеча коромысла – 300 мм.

Расчетным режимом для выбора гидроцилиндра привода колес следует считать уплотнение грунта при имеющихся длинах стрелы и рукояти на экскаваторе марки ЭО-4225, при котором предполагается наибольшее его нагружение. В этом режиме активной силой на штоке гидроцилиндра преодолеваются сопротивление грунта уплотнению, а также внутренние сопротивления в шарнирах механизма.

Сопротивление грунта уплотнению зависит от формы исходной поверхности

обратной засыпки, которая может быть плоской, выгнутой и с уклоном. В первом приближении предположим эту поверхность плоской. При этом за одну операцию уплотнения грунта поворотом колеса относительно шарнира его колесо переместится и повернется на угол $\beta = 300$, который определяет ход поршня гидроцилиндра. При этом максимальная толщина уплотнения составляет $h = 100$ мм.

Тогда рабочий объем для гидроцилиндра рукояти можно определить по формуле:

$$W_{\text{гц}} = \frac{A_{\Sigma}}{P_{\text{р.ср}} \cdot \eta_k \cdot K_n} = \frac{73}{22,5 \cdot 0,72 \cdot 0,76} = 6 \text{ л.}$$

Произведём выбор гидроцилиндра по его основным параметрам, используя данные табл. 2.

Таблица 2
Параметры гидроцилиндров при номинальном давлении 25 МПа

Наименование	Значения параметров		
Диаметр поршня D , мм	100	110	125
Диаметр штока d , мм	63	70	80
Наружный диаметр гильзы D_1 , мм	127	140	152
Наружный радиус концевой проушины r , мм	80	80	90
Размер $A = L_o - L_n$, мм	470	490	500
Площадь поршня F , см ²	78,5	95	122,7
Рабочий объем $W_{\text{гц}}$, л:			
при ходе поршня $L_n = 560$	–	–	6,7
при ходе поршня $L_n = 710$	–	6,75	–
при ходе поршня $L_n = 900$	7,07	–	–

Выбранный по рабочему объему гидроцилиндр ($D = 125$ мм) привода поворота пневмоколес следует проверить на возможность преодоления максимального сопротивления грунта уплотнению, которое по аналогии с вычислением работы A_{Σ} определим как

$$W_{\text{max}} = (1,025 \dots 1,035) \cdot W_{\Sigma} = 1,03 \cdot 7,1 = 7,3 \text{ кН.}$$

Усилие на штоке должно быть достаточным для преодоления максимального сопротивления уплотнению грунта. Максимально рабочее давление $P_{\text{рmax}}$ в гидроцилиндре

$$P_{\text{рmax}} = \frac{4P_{\text{kmax}}}{1000 \cdot \pi \cdot D^2 \cdot i_{\text{min}} \cdot \eta_k} = \frac{4 \cdot 7,3}{1000 \cdot 3,14 \cdot 0,125^2 \cdot 0,15 \cdot 0,84} = 4,7 \text{ МПа.}$$

Гидроцилиндр удовлетворяет условиям проверки, если выполняется условие

$$P_{\text{рmax}} \leq 0,9 P_{\text{нmax}}$$

где $P_{\text{нmax}}$ – максимальное давление, развиваемое насосом, МПа.

Как и ранее, здесь коэффициентом 0,9 учтены потери давления в гидрелиниях.

Максимальное усилие P_{max} , кН, на штоке гидроцилиндра (без внутренних потерь) составит:

$$P_{\max} = 1000 \cdot P_{p\max} \frac{\pi D^2}{4} = 1000 \cdot 39,79 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,125^2}{4} = 89,5 \text{ кН},$$

где $P_{p\max}$ – максимальное рабочее давление жидкости в гидроцилиндре, равное давлению настройки клапана вторичной защиты, МПа; D – диаметр гидроцилиндра, м.

Проверяем преодоление максимального сопротивления $W_{\max}$ усилием на гидроцилиндре колеса: $89,5 \text{ кН} \geq 7,3 \text{ кН}$.

После выполненной проверки принимаем гидроцилиндр управления поворотом пневмоколес с рабочим объемом, равным $W_{\text{гц}} = 6,7 \text{ л}$.

Механизм поворота пневмошинных колес должен обеспечить угол поворота до 60° , при котором достигается необходимая для уплотнения грунтов траектория колес и исключается их опрокидывание в различных положениях стрелы и рукояти.

Для получения оптимального угла поворота колес используем механизм с качающимся гидроцилиндром [1], управляющим

возвратно-поступательным движением коромысла с пневмоколесами уплотнения грунта. При этом будем считать заданными: радиус шарнира коромысла, расстояние на рукояти между шарнирами коромысла, отношение угла его поворота к углу поворота кривошипа $\gamma/\alpha = 1,5$.

Далее определяем угол поворота кривошипа: $\alpha = 60/1,5 = 40^\circ$.

Максимальную продолжительность технологической операции уплотнения $t_{\max}$ определяем по эмпирической зависимости:

$$t_{\max} = 3 + 4l = 3 + 4 \cdot 0,8 = 6,2 \text{ с.}$$

где l – длина прохода пневмошины, принимаемая равной $l = 0,8 \text{ м}$.

Тогда расчетную мощность первичного двигателя $N_{\text{дв}}$, необходимую для осуществления процесса уплотнения, определяем по формуле:

$$N_{\text{дв}} = \frac{A \cdot q}{K_{\text{н}} \cdot t_{\max} \cdot \eta_{\text{л}} \cdot \eta_{\text{ро}}} = \frac{7,3}{0,85 \cdot 6,2 \cdot 0,53} = 2,6 \text{ кВт},$$

где $K_{\text{н}}$ – коэффициент использования мощности насосной установки в процессе уплотнения; A – энергоемкость процесса уплотнения в расчетном грунте, отнесенная к единице прохода пневмошины, кДж/м; $\eta_{\text{л}}, \eta_{\text{ро}}$ – суммарный КПД привода и рабочего оборудования.

Этап 4. Расчет производительности уплотнения грунта.

Часовая эксплуатационная производительность уплотнения грунта навесным оборудованием на пневматических шинах определяется по формуле:

$$P_3 = \frac{(B_y - b)x_{\text{ср}} \cdot H \cdot K_{\text{в}}}{n} = \frac{1,1 \cdot 2 \cdot 0,1 \cdot 0,7}{6} = 20 \text{ м}^3/\text{ч},$$

где B_y – ширина уплотняемой полосы, м; b – ширина перекрытия смежных полос, м ($b = 0$); $x_{\text{ср}}$ – средняя рабочая скорость экскаватора при уплотнении грунта, км/ч; H – толщина уплотняемого слоя грунта, м ($H = 0,10\text{--}0,15 \text{ м}$); $K_{\text{в}}$ – коэффициент использования внутрисменного времени; n – необходимое число проходов катка по одному следу ($n = 4\text{--}6$).

На основе расчетов по данным рекомендациям сформированы технические предложения навесного сменного грунтоуплотняющего оборудования [3], конструктивные элементы которого, как результат инвариантного проектирования с применением САПР КОМПАС-3D, представлены на рис. 2 и 3.

Выводы

1. Производительность разработанных навесных грунтоуплотняющих средств

в стесненных условиях должна быть не ниже производительности отряда землеройно-транспортных машин. При этом пробный слой (толщина слоя не должна превышать 20...30 см) необходимо уплотнять последовательными проходами и после каждого отбирать пробы, на основании которых определяется требуемая плотность грунта.

2. На основании полученного эффекта, сформулированы практические рекомендации и технические предложения по уплотнению грунтов обратных засыпок в стесненных условиях навесным сменным грунтоуплотняющим оборудованием гидравлических экскаваторов или погрузчиков на базе спаренных шипованных и нешипованных пневматических шин (основная длина полосы уплотнения) и вибротрамбовками (на концевых участках полосы уплотнения).

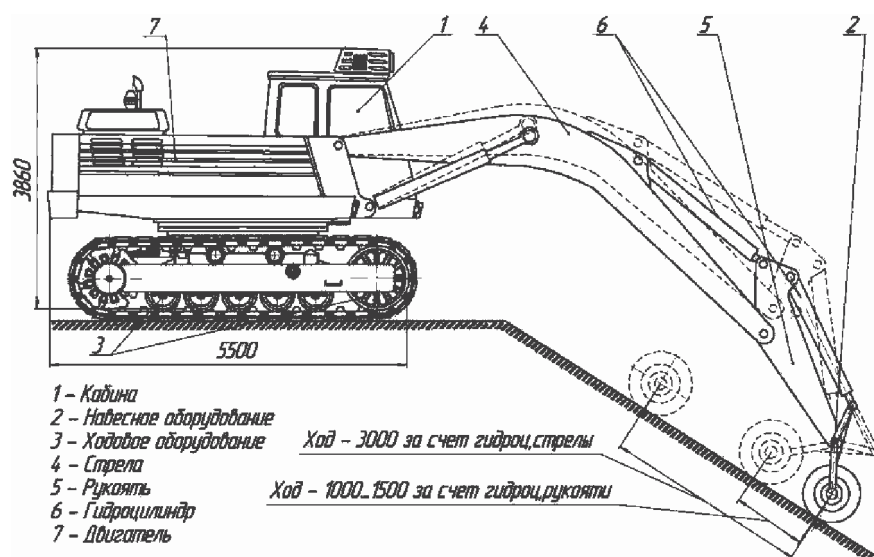


Рис. 2. Уплотнение грунта гладкой поверхностью навесными пневмошинами

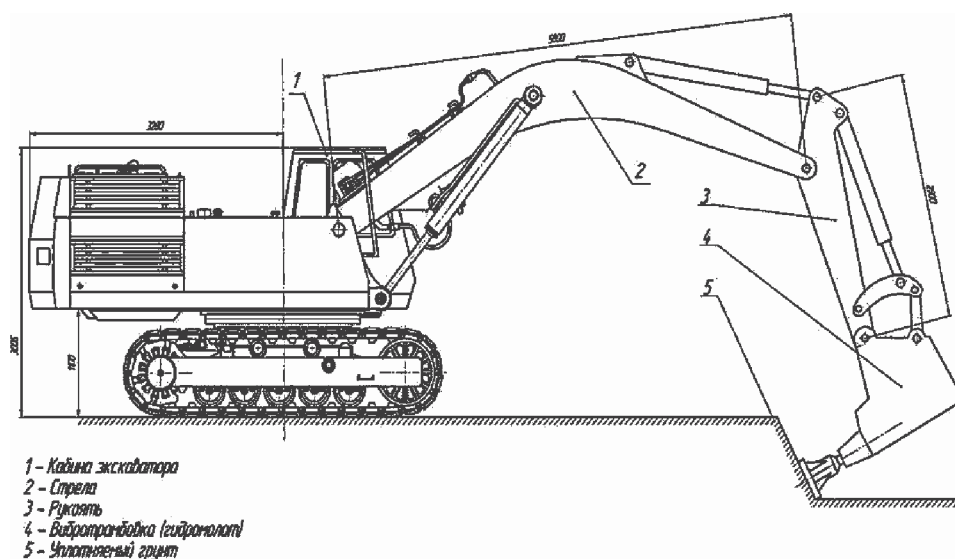


Рис. 3. Уплотнение грунтов обратных засыпок навесными вибротрамбовками

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кравченко И.Н. Повышение эффективности навесного сменного оборудования для уплотнения грунтов в стесненных условиях: монография / И.Н. Кравченко, С.Г. Марковчин, В.В. Мирзоев, С.И. Салеев. – М.: Изд-во «Эко-Пресс», 2012. – 210 с.
2. Кравченко И.Н. Применение навесного оборудования для уплотнения грунтов и искусственных насыпей транспортных магистралей / И.Н. Кравченко, В.В. Мирзоев, С.Г. Марковчин, С.И. Салеев // Механизация строительства. – № 8. – 2012. – С. 2 – 10.
3. Кравченко И.Н. Разработка навесного сменного оборудования для уплотнения грунтов обратных засыпок

в стесненных условиях / И.Н. Кравченко, С.Г. Марковчин, С.И. Салеев, Н.И. Салеев // Механизация строительства. – № 10. – 2012. – С. 10 – 14.

4. Кравченко И.Н. Физико-математическая модель уплотнения грунтов навесным пневмошинным оборудованием / И.Н. Кравченко, С.И. Салеев, Н.И. Салеев // Materiały VIII międzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji «Perspektywiczne opracowania są nauką i technikami». – Przemyśl: Nauka i studia, 2012.

5. Салеев С.И. Методика расчета параметров и определения рациональных режимов работы адаптивной системы «вибротрамбовка-грунт» / С.И. Салеев, И.Н. Кравченко, Н.И. Салеев, С.Г. Марковчин // Механизация строительства. – № 11. – 2012. – С. 18–25.

УДК 629.3.014.2

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАСЧЕТА ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ КАТАЛИТИЧЕСКИХ НЕЙТРАЛИЗАТОРОВ

Лешаков И.А., Кравченко И.Н., Ерофеев М.Н.

ФГБВОУ ВПО «Военно-технический университет», Балашиха, e-mail: kravchenko-in71@yandex.ru

Система снижения токсичности отработавших газов автотракторных двигателей должна обеспечивать заявленные экологические параметры во всех климатических зонах России. При этом параметры и требования должны выдерживаться в течение всего ресурса работы системы и быть не меньше ресурса соответствующего двигателя. Противодействие, создаваемое системой, не должно превышать противодействия штатного глушителя шума выпуска. В противном случае это приводит к увеличению расхода топлива. Поэтому задачей настоящего исследования является разработка такой системы снижения токсичности отработавших газов, которая одновременно соответствовала бы требованиям по ограничению уровня шума выпуска. При этом в качестве одного из основных направлений является унификация конструкций систем снижения токсичности для всех автотракторных двигателей.

Ключевые слова: каталитический нейтрализатор, дизельный двигатель, автотракторная техника, конверсия токсичных веществ, горюче-смазочные материалы

A MATHEMATICAL MODEL TO CALCULATE THE MAIN PARAMETERS OF CATALYTIC CONVERTERS

Leshakov I.A., Kravchenko I.N., Erofeev M.N.

Federal State military institution of higher education «Military-Technical University», Balashikha, e-mail: kravchenko-in71@yandex.ru

System to reduce emissions of automotive engines should provide the stated environmental performance in all climatic zones of Russia. The parameters and requirements should be maintained throughout the life of the system and not be less than those of the relevant engine. The back pressure created by the system shall not exceed the regular muffler backpressure issue. Otherwise, it leads to an increase in fuel consumption. Therefore, the goal of this study is to develop a system to reduce emissions, which also would be consistent with the requirements for limiting the noise issue. At the same time as one of the main areas is the unification of emission control system designs for all automotive engines.

Keywords: catalytic converter, a diesel engine, automotive vehicles, conversion of toxic substances, fuels and lubricants

Для обеспечения экологических требований автотракторной техники наиболее часто используемыми и достаточно хорошо освоенными в научном и промышленном плане являются каталитические нейтрализаторы, которые с помощью ускорителей реакции окисления (катализаторов) осуществляют дополнительную очистку отработавших газов от токсичных продуктов неполного сгорания топлива и паров масла путем дожигания [1, 2]. При этом в качестве катализаторов обычно выступают металлы платиновой группы (платина, родий, палладий). Иногда катализатор представляет собой мелкодисперсную смесь этих металлов с добавками окислов переходных металлов (меди, молибдена, цинка и др.).

Применение каталитических нейтрализаторов имеет ряд особенностей, заключающихся в том, что, во-первых, автотракторная техника почти полностью базируется на разнообразных дизельных двигателях и работает на удалённом расстоянии от станций технического обслуживания и сервисных центров; во-вторых, квалификация и уровень экологических знаний обслуживающего персонала и операторов машин находятся на крайне низком уровне; в-третьих, применяемые горюче-смазочные материа-

лы далеко не всегда отвечают соответствующим стандартам и часто содержат нежелательные примеси [4].

Перечисленные особенности выдвигают соответствующие требования к конструкции и эксплуатации каталитических нейтрализаторов на шариковом носителе. Таким образом, для создания эффективной системы снижения токсичности требуется модернизация системы очистки отработавших газов силовой установки автотракторной техники.

Расчет эффективности конверсии токсичных веществ в нетоксичные материалы

Основное назначение нейтрализатора заключается в осуществлении реакции конверсии СО и углеводородов до нейтральных углекислого газа и воды. Реакция конверсии идет в обоих направлениях, поэтому количество выходных продуктов очень сильно зависит от условий эксперимента. На положительное направление реакции сильно влияет температура. На приведенных S-образных кривых протекания реакций окисления СО и углеводородов (рис. 1) показаны стандартные точки, по которым судят об эффективности нейтрализатора.

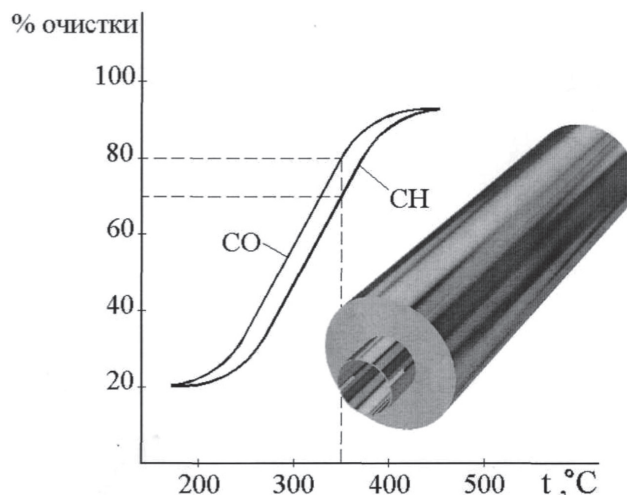


Рис. 1. S-образные кривые для CO и углеводородов

По температуре эта точка соответствует 350°C, при которой очистка от CO должна быть не менее 80%, а углеводородов – не менее 70%. Эта величина примерно одинакова для всех металлов платиновой группы, и приводится во всех технических характеристиках нейтрализаторов. Она сохраняется в течение всего срока эксплуатации при непереносимом условии использования стандартных топлив. С повышением температуры отработавших газов, то есть при повышении нагрузки на двигатель, эффективность нейтрализатора увеличивается [3],

асимптотически приближаясь к 100% при температурах более 600°C.

Разработка нейтрализатора начинается с определения потребного количества катализатора. В общем случае при заданном расходе топлива и сопротивлении слоя объем катализатора зависит от расхода и температуры отработавших газов, требуемой степени очистки и потери давления на каталитическом слое. Эти величины связываются уравнениями Навье-Стокса с уравнением неразрывности струи и их взаимоотношениями с геометрическими параметрами нейтрализатора:

$$\begin{cases} u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial l} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + v \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial l^2} + \frac{1}{l} \frac{\partial u}{\partial l} \right), \\ u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial l} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial l} + v \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial l^2} + \frac{1}{l} \frac{\partial v}{\partial l} - \frac{v}{l^2} \right), \end{cases}$$

$$\frac{\partial}{\partial x}(lu) + \frac{\partial}{\partial l}(lv) = 0.$$

Введем непринципиальные допущения, позволяющие несколько упростить решение задачи. Будем считать, что у нас осуществляется такое движение газа, при котором продольная компонента скорости в каталитическом слое равна нулю, на границе твердых поверхностей составляющие скорости v и u обращаются в нуль при постоянном равенстве расходов газа. Катализатор будем представлять в виде мелкодисперсного порошка металлов платиновой группы (платина, родий, палладий). Они должны располагаться в порах носителя, желательно как можно ближе к наружной поверхности шарика, но с тем условием, чтобы порошок

не сдувался с поверхности и мог выдерживать механические воздействия (тепловые деформации, вибрации и т.п.). Такое требование означает, что частичка катализатора должна быть заглублена в поры носителя. При этом часть активной поверхности катализатора не сможет контактировать с газом или будет работать менее активно.

Кроме того, следует учесть, что часть катализатора будет заглублена так далеко, что вообще не будет участвовать в реакции. Количественное значение этих потерь неизвестно, т.к. они изменяются в зависимости от пористости носителя и величины дисперсности частичек катализатора, концен-

трации раствора солей этих металлов, в который окунается носитель.

Однако понятно, что без количественного учета этих потерь катализатора, придется увеличивать вычисленную величину на некоторую величину, которая по приближительным оценкам может составлять 30 %.

Будем также считать, что течение ламинарное, равномерное со скоростью примерно 30 м/с при постоянной температуре отработавших газов, составляющей 350 °С.

В работе содержится ориентировочное решение системы уравнений, которое можно записать в виде:

$$\eta = 1 - \exp\left(-\frac{0,41al}{Re_{\varepsilon}^{0,35}}\right); \quad (1)$$

$$\Delta P_{\text{сл}} = \frac{G^2}{F^2 \rho} \cdot \frac{al}{2\varepsilon^3} f_{\varepsilon}; \quad (2)$$

$$f_{\varepsilon} = \frac{36,4}{Re_{\varepsilon}} + 0,45; \quad (3)$$

$$Re_{\varepsilon} = \frac{4G}{F\mu a}, \quad (4)$$

где η – степень очистки отработавших газов; a – удельная поверхность гранул катализатора; l – толщина слоя катализатора; Re_{ε} – эффективное число Рейнольдса; $\Delta P_{\text{сл}}$ – перепад давления на слое катализатора; G – массовый расход отработавших газов; F – площадь реактора; ρ – плотность; ε – пористость слоя катализатора; f_{ε} – коэффициент сопротивления; μ – динамическая вязкость газа в уравнениях Навье-Стокса; $\nu = \mu / \rho$ – коэффициент кинематической вязкости.

Преобразуя выражения (1) и (2) с учетом уравнений (3) и (4), получим систему уравнений:

$$\begin{cases} \eta = 1 - \exp\left[-\frac{0,41al}{(GL/F)^{0,35}}\right] \\ \Delta P_{\text{сл}} = \left(\frac{G}{F}\right)^2 \frac{Kl}{\left(\frac{36,4 \cdot F\mu a}{4 \cdot G} + 0,45\right)} \end{cases}, \quad (5)$$

где $K = a / 2\rho\varepsilon^3$, $L = 4/\mu a$ – константы при постоянной температуре.

Левые части системы уравнений (5) известны, решив систему относительно F и l , и, перемножив полученные величины, найдем искомый объем катализатора. Для автомобиля КАМАЗ объем катализатора получается примерно в 12 л, в зависимости от расхода отработавшего газа (для расчета принят расход в 700 м³/ч) [3]. При конструировании конкретного изделия объем катализатора, естественно, увеличивается.

В качестве катализатора будем использовать стандартный катализатор платиновой группы типа ШПК-1 (ТУ 6-09-5531-85), представляющий сферические гранулы диаметром приблизительно 3,5 мм из γ -оксида алюминия Al_2O_3 серого цвета. Содержание платины по весу составляет примерно 0,1 %.

Нейтрализатор подбирался из условия соответствия гидросопротивления при максимальной частоте вращения коленчатого вала двигателя требованиям технического задания и техническим условиям 37.001.011-70.

Объемный расход воздуха Q_v , м³/с, от двигателя КамАЗ-740 составит:

$$Q_v = \frac{\pi D^2 \times H \times z \times n \times 2\pi}{4 \times 60} \times \eta_v, \quad (6)$$

где D – диаметр поршня, м; n – частота вращения коленчатого вала двигателя, мин⁻¹; H – ход поршня, м; z – количество цилиндров, шт.; η_v – коэффициент наполнения.

Принимая во внимание необходимость эксплуатации автомобиля в разнообразных климатических зонах, принимаем усредненное значение $\eta_v = 0,85$. Определим для дизельных двигателей объемный расход воздуха Q_v :

$$Q_v = \frac{3,14 \times 0,12^2 \times 0,12 \times 8 \times 2200 \times 2 \times 3,14}{4 \times 60} \times 0,85 = 25.$$

Весовой расход воздуха G_g составит:

$$G_g = \gamma \times Q_v, \quad (7)$$

где γ – удельная плотность воздуха при нормальных условиях, кг/м³

$$G_g = 1,293 \times 25 = 32,33.$$

Согласно внешней скоростной характеристике (BCX) двигателя КамАЗ-740.11 определяем расход топлива G_T при максимальной частоте вращения коленчатого вала двигателя $n = 2200$ мин⁻¹:

$$G_T = 34 \text{ кг/ч} = 0,0094 \text{ кг/с}.$$

Общий весовой расход $G_{ог}$ отработавших газов:

$$G_{ог} = G_{в} + G_{т} = 32,33 + 1 = 33,33.$$

Общий объёмный расход $Q_{ог}$ отработавших газов:

$$Q_{ог} = \frac{G_{ог}}{\gamma} = \frac{33,33}{1,293} = 25,78 \text{ м}^3/\text{с}.$$

В соответствии с вычисленной величиной максимального расхода отработавших газов проверим ряд нейтрализаторов по условию не превышения гидросопротивления.

Оценка аэродинамического сопротивления нейтрализатора

Каталитический нейтрализатор должен иметь аэродинамическое сопротивление не выше шума выпуска глушителя, укомплектованного заводом-изготовителем. Таким образом, задача сводится к последовательному суммированию аэродинамических сопротивлений газового тракта нейтрализатора при каждом изменении вектора скорости потока по величине и (или) направлению.

При изотермическом состоянии (при скорости потока, например, 60 м/с, газ будет пробегать выпускной тракт длиной в 1 м за 1/60 с, т.е. теплообменом со стенками при таких скоростях можно пренебречь) абсолютное количество энергии потока выражается следующей формулой [6]:

$$E = \frac{mv^2}{2},$$

где m – масса движущегося газа; v – скорость газа.

Удельная энергия потока получается подстановкой в это уравнение плотности вместо массы, тогда

$$E_0 = \frac{\rho v^2}{2}.$$

В аэродинамике эта величина называется динамическим скоростным давлением и выражает в численном значении энергию единицы объема движущегося газа. Если теперь появится какое-нибудь местное сопротивление, то появится противодействие, которое можно выразить разницей давлений до сопротивления и после него, т.е. $p_1 - p_2$. Тогда относительная величина потерь будет:

$$\Delta p = \xi \times \frac{QW^2}{2} = 0,179 \times \frac{0,46 \times 174,5^2 \times 10}{2} = 12536 \text{ Па} = 12,536 \text{ кПа}$$

Полученная величина гидросопротивления выбранного нейтрализатора удовлетворяет требованиям ТУ 37.001.011-70. Про-

$$\zeta = \frac{p_1 - p_2}{p_2} \text{ или } \frac{p_1}{p_2} = \zeta + 1$$

$$\text{или } p_2 = (\zeta + 1)p_1.$$

Пренебрегая влиянием отдельных камер друг на друга, общее сопротивление можно выразить как сумму отдельных сопротивлений:

$$\sum z = z_1 + z_2 + \dots + z_n,$$

$$\text{где } z_1 = \zeta_1 \frac{\rho_1 v_1^2}{2}; \quad z_2 = \zeta_2 \frac{\rho_2 v_2^2}{2}; \quad z_n = \zeta_n \frac{\rho_n v_n^2}{2}.$$

Скорость движения потока отработавших газов на входе в нейтрализатор

$$W = \frac{4Q \times \left(\frac{273 + t_{ог}}{293} \right)}{\pi D^2}, \quad (8)$$

где t – температура отработавших газов, °С; D – диаметр входного патрубка нейтрализатора;

$$W = \frac{4 \times 0,28 \times \left(\frac{273 + 500}{293} \right)}{3,14 \times 0,075^2} = 174,5 \text{ м/с}.$$

Удельная плотность отработавших газов

$$Q = Q_0 \times \frac{293}{273 + 500}, \quad (9)$$

где Q_0 – удельная плотность при нормальных условиях

$$Q = 1,26 \times \frac{293}{273 + 500} = 0,46 \text{ кг/м}^3.$$

Точное вычисление сопротивлений является достаточно сложным процессом, т.к. точное значение скоростей нам неизвестно, поэтому воспользуемся методом аналогий и интерполяций величин стандартных и типовых сопротивлений [5]. При таком расчете сопротивление нейтрализатора КамАЗ получается не более 600 мм вод. ст. при максимальных расходах отработавшего газа. Эти параметры примерно соответствуют параметрам по сопротивлению глушителей шума выпуска, укомплектованных заводом-изготовителем; принимаем величину коэффициента гидросопротивления разработанного нейтрализатора $\xi = 0,179$.

Исходя из имеющихся данных, определяем величину газодинамического сопротивления выбранного по формуле:

ведённый расчёт по подбору агрегата для нейтрализации вредных веществ отработавших газов двигателя КамАЗ-740, уста-

новленного на базе автомобиля КамАЗ, показывает целесообразность применения каталитического нейтрализатора.

Выводы

1. На основе анализа методов снижения содержания токсичных компонентов в отработавших газах дизеля выявлено, что наиболее эффективным и экономически целесообразным является применение в выпускной системе двигателя каталитического нейтрализатора на шариковом носителе.

2. Разработанная математическая модель комплексно описывает газодинамические, химические и тепловые процессы, протекающие в нейтрализаторе. На основании предложенной модели проведена оптимизация конструктивных параметров каталитических нейтрализаторов с учетом затрат на их производство и эксплуатацию.

3. Полученные зависимости позволяют рассчитать газодинамическое сопротивление и перепад давления в нейтрализаторе с учетом его конструктивных параметров и изменения тепловых и химических процессов в реакторе при эксплуатации. Это

дает возможность создать новые конструкции нейтрализаторов с минимальным газодинамическим сопротивлением.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Батурин Н.В., Титов Д.Н., Медведев Г.В., Новоселов А.А., Грабовская Н.Н. Совершенствование конструкций дизелей и их экологические показатели // Ползуновский вестник. – 2009. – №1-2. – С. 73–80.
2. Варламов В.Н., Ерофеев М.Н. Разработка комплексной системы снижения токсичности дизельных автопогрузчиков // Научно-технический сборник: Вып.15. – Балашиха: ВТУ при Спецстрое России, 2007. – С. 116–119.
3. Варламов В.Н., Ерофеев М.Н. Универсальный силовой агрегат // Научно-технический сборник: Вып.15. – Балашиха: ВТУ при Спецстрое России, 2007. – С. 110–113.
4. Ерофеев М.Н., Варламов В.Н., Кравченко И.Н., Лешаков И.А. Каталитический нейтрализатор отработавших газов с регулируемым объемом реактора: Патент на полезную модель № 95747. – №2010110501/22; Заявл. 22.03.2010; Опубл. 10.07.2010. – Бюл. № 19. – 4 с.
5. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1992. – 672 с.
6. Поспелов Д.Р. Двигатели внутреннего сгорания. Автомобили, тракторы и их эксплуатация. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1979. – 296 с.

УДК 622.276.04

КОРРОЗИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ В УСЛОВИЯХ МОРСКИХ НЕФТЕГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА УСТАЛОСТНОЕ ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЕ

Староконь И.В., Фролова Н.В., Романенко О.А., Болбот Н.В.

*Российский государственный университет нефти и газа им. И.М. Губкина, Москва,
e-mail: starokon79@mail.ru*

В статье рассматривается специфика коррозионных процессов на морских нефтегазовых сооружениях. Подробно описываются причины возникновения коррозионных дефектов. Рассматривается влияние температуры, солёности, скорости морских течений. Показывается, что с увеличением температуры возникают анодные зоны на более перегретых конструктивных элементах морских стационарных платформ (МСП). Приводится классификация участков расположения морских нефтегазовых сооружений в зависимости от температурных воздействий. Рассматривается влияние растворённых в морской воде солей и показывается их влияние на скорость коррозии. Отмечается, что на коррозионные процессы также оказывают влияние морские течения и качество работы систем защиты от коррозии. Опираясь на статистику, полученную в результате проведения диагностических обследований МСП, авторами проведен анализ коррозионного износа в атмосферной, подводной и переменного смачивания зонах, что позволило выявить участки наиболее интенсивного коррозионного износа, расположенные в зоне переменного смачивания.

Ключевые слова: усталостные трещины, морские нефтегазовые сооружения, морские стационарные платформы, коррозионные процессы

CORROSION PROCESSES IN THE CONDITIONS OF SEA OIL AND GAS FIELDS AND THEIR INFLUENCE ON FATIGUE PROGRESS

Starokon I.V., Frolova N.V., Romanenko O.A., Bolbot N.V.

Russian state University of oil and gas named after I.M. Gubkina, e-mail: starokon79@mail.ru

In article specifics of corrosion processes on sea oil and gas constructions is considered. The reasons of emergence of corrosion defects are in detail described. Influence of temperature, salinity, speed of sea currents is considered. It is shown that with increase in temperature there are anode zones on more superheated constructive elements of the sea stationary platforms (SSP). Classification of sites of an arrangement of sea oil and gas constructions depending on temperature influences is given. Influence of the salts dissolved in sea water is considered and their influence on corrosion speed is shown. It is noted that sea currents and quality of work of systems of protection against corrosion also have impact on corrosion processes. Relying on the statistics received as a result of carrying out diagnostic inspections of MSP, authors carried out the analysis of corrosion wear in atmospheric, underwater and variable wetting zones that allowed will reveal the sites of the most intensive corrosion wear located in a zone of variable wetting.

Keywords: fatigue cracks, sea oil and gas constructions, sea stationary platforms, corrosion processes

Морские нефтегазовые месторождения России расположены на территории 13 морей, так же отечественные нефтегазовые компании занимаются освоением месторождений принадлежащих иностранным государствам, например, месторождение «Белый Тигр» принадлежащее Вьетнаму. Климат этих месторождений существенно различается, что оказывает существенное влияние коррозионные процессы морских нефтегазовых сооружений. Так например, средняя температура воды в Баренцевом море в июле-августе не превышает плюс десяти градусов Цельсия, в то время как этот же период температура средняя воды в Черном море превышает значение плюс двадцати восьми градусов Цельсия. Отличаются моря и уровнем солёности воды. Например, солёность воды в Азовском море не превышает значение 13,8%, в то время как в Баренцевом море этот показатель составляет порядка 35% [1]. Однако солёность и температурный режим это далеко

не все факторы влияющие на скорость коррозионных процессов. Помимо этого следует учитывать, что на скорость коррозии оказывают влияние состояние и химический состав материала конструктивных элементов МНГС, фактор сезонности, влажность воздуха, конструктивная форма сварных соединений и элементов, время работы, характер нагрузки элементов и другие факторы [1, 2, 3]. Перейдем к подробному рассмотрению факторов, влияющих на скорость коррозии в условиях морского нефтегазового месторождения. Как уже говорилось выше, важным фактором, влияющим на ускорение коррозионных процессов, является температура. Как это показано в работе [2], скорость электрохимической коррозии с увеличением температуры возрастает. Как известно, температура поверхности сооружения изменяется в зависимости от высоты расположения конструктивных элементов МНГС. Можно выделить четыре уровня изменения температуры

МНГС в зависимости от его высотного положения [1, 2]: атмосферная, переменного смачивания, подводная, слоя донных грунтов. Подводная зона характеризуется неоднородным температурным полем, обусловленными различными течениями, температуры в этой зоне колеблются от 0 °C и выше. Атмосферная зона характеризуется колебанием температур от -65 °C до +5...+10 °C на Северных месторождениях и от +10 °C до +80 °C на месторождениях стран Персидского залива. Наиболее неблагоприятная с точки зрения кинетики воздействия температурных полей является зона периодического смачивания, т.к. она находится в зоне действия атмосферного температурного поля и температурного поля набегающих волновых потоков, характеризующихся высокой частотой. Помимо этого надо учитывать ежесуточное изменение температуры (температурные циклы день-ночь-день) и сезонное изменение температуры. При изучении морских нефтегазопроводов следует учитывать дополнительное температурное поле со стороны перекачиваемого продукта. Как правило, это поле значительно отличается от температуры окружающей среды и имеет некоторую свою величину, что обусловлено увеличением вязкости нефти и невозможностью ее транспортировки по трубопроводам ниже определенных температур или образованием газоконденсатных пробок при перекачке газа. Кроме того, температура нефти, выходящей из скважины, может достигать до 100 °C. Ускорению коррозионного разрушения способствует возникновение термогальванических пар из-за разницы температуры отдельных участков одного и того же металла элемента МНГС. Участок конструктивного элемента МНГС с большей температурой становится анодным и подвергается более сильной коррозии [1, 2]. Этот процесс интенсивно протекает в зоне переменного смачивания и поверхностных слоях воды, для которых характерно резкое изменение температуры, а также на участках, подвергаемых воздействию от брызг морской воды. Данный процесс практически не оказывает влияния в подводной зоне, что обусловлено отсутствием резких перепадов температуры, характерных для надводной зоны. Значительное влияние на скорость коррозионных процессов оказывает соленость. Общеизвестно, что в морской воде содержится большое количество растворенных в ней солей, сильно отличающихся по своему химическому составу и концентрации в различных морях. В морской воде растворены соли натрия, магния, кальция, брома и некоторых других метал-

лов [1, 2]. Наиболее распространенной, порядка 78% от общего числа растворенных солей, является натриевая соль. Второй по распространенности, порядка 11%, является магниевая соль. За ними следуют соли калия и кальция с содержанием 3% от общего числа растворенных солей. Далее следуют соли брома и некоторых других металлов, с содержанием порядка 0,2%. Значительное влияние на концентрацию солей оказывают речные стоки, доставляющие в море речную воду с низким содержанием солей. Высокая концентрация солей различных металлов в морской воде делает ее электролитом с высокой электропроводностью. Так например, при общей солености 2-3% электропроводность морской воды составляет около 2,5-3,0·10⁻² [Ом·см]⁻¹ [2]. Из вышесказанного очевидно, что высокое содержание ионов хлора и некоторых других кислотных остатков превращает морскую воду в высокоагрессивную коррозионную среду. Значительное влияние на скорость коррозионных процессов оказывают морские течения. В связи с тем, что с морским течением постоянно доставляются новые коррозионно-активные элементы еще не вступившие в реакцию, к уже пораженным коррозией участкам конструктивных элементов МНГС, существенно ускоряются коррозионные процессы. Следует также отметить, что коррозионные поражения МНГС начинаются в результате нарушения работы систем защиты от коррозии [1]. Как показал анализ отчетов инспекционных обследований морских платформ, коррозионные процессы наиболее интенсивно протекают в зонах с поврежденным лакокрасочным покрытием или другом изоляционном материале. Слабая адгезия лакокрасочного покрытия либо его полное отсутствие приводили к серьезным коррозионным повреждениям даже при наличии действующих систем ЭХЗ. Помимо этого следует учитывать, что на скорость коррозии оказывают влияние состояние и химический состав материала конструктивных элементов МНГС, фактор сезонности, температура воздуха и воды, влажность воздуха, конструктивная форма сварных соединений и элементов, время работы, характер нагрузки элементов и другие факторы [1, 2, 3, 4, 5]. К настоящему моменту разработаны различные теории коррозии под напряжением. Однако в рассматриваемом нами процессе исследования коррозионного воздействия на напряженное состояние МНГС авторами предлагается обратиться к классической теории механики разрушения [3]. Совершенно очевидно, что существенное воздействие на изменение напря-

женного состояния оказывают различные формы нарушения поверхности конструктивных элементов МНГС. Если рассматривать сплошную поверхностную коррозию, то она приводит к равномерному утонению толщины стенок труб с равномерным снижением общей несущей способности. Гораздо более опасными являются язвенные или точечные коррозионные поражения, распространяющиеся от поверхности вглубь основного металла с малыми радиусами закругления на конце дефекта. Такие поражения резко изменяют форму поверхности конструктивного элемента МНГС, приводя к изменению общей картины напряженного состояния, и становятся потенциально перенапряженными элементами, известными в классической механике разрушения как концентраторы напряжений. Эти элементы характеризуются коэффициентами концентрации напряжений K , которые определяют истинное напряженное состояние на участке с КД путем умножения значения K на величину номинальных напряжений. Значение величины концентрации напряжений тем больше, чем острее форма коррозионного дефекта. Коррозионный дефект в виде каверны представляет собой локальное углубление, характеризующееся параметрами длины, ширины, глубины и радиусом закруг-

ления на конце каверны [1, 3]. Для того, чтобы установить историю изменения напряженного состояния МНГС, требуется установить, с какой скоростью развивался коррозионный дефект, т.е. установить скорость коррозии. Сотрудниками ООО «Институт «ШЕЛЬФ» были выполнены экспериментальные исследования, в результате которых было установлено, что скорость коррозии образцов полностью погруженных в воду составляет от 60 до 130 мкм/год, скорость коррозии в зоне переменного смачивания может достигать до 1,3мм/год. Однако эти исследования проводились без учета влияния систем электрохимической защиты от коррозии, изоляционного покрытия, протекторной защиты и др. способов борьбы с коррозионным износом, т.е. при так называемой свободной коррозии. В действительности МНГС защищаются от коррозии различными методами. Для того, чтобы установить величину действительного коррозионного износа обратимся к данным материалов диагностирования МСП. На платформе МСП-4 была произведена ультразвуковая толщинометрия стенок конструктивных элементов. Рассмотрим МСП-4, установленную на Голицынском месторождении. Результаты обследования были обработаны автором и сведены в таблице [3].

Оценка коррозионного износа МСП-4

Наименование измеряемого параметра	Зона/глубина		
Стойки МСП 1420х15,7мм			
	Подводная	Переменного смачивания	Атмосферная
Проектная толщина,мм	15,7	15,7	15,7
Минимальное замеренное значение,мм	13,3	12,87	13,1
Среднее замеренное значение,мм	14,31	13,81	14,6
Максимальное замеренное значение,мм	15,4	14,75	15,4
Количество замеров	90	70	68
Средний износ, %	8,8	12	7
Вертикальные расколы подводной части 530х12мм:			
	Глубина 45 м	Глубина 35 м	Глубина 10 м
Проектная толщина,мм	12	12	12
Минимальное замеренное значение,мм	11,04	11,04	10,2
Среднее замеренное значение,мм	11,28	11,4	10,56
Максимальное замеренное значение,мм	11,6	11,5	11,3
Количество замеров	65	68	74
Средний износ, %	6	5	12
Элементы диафрагм подводной части 478х11мм:			
	Глубина 40,5 м	Глубина 6 м	-
Проектная толщина,мм	11	11	-
Минимальное замеренное значение,мм	9,57	8,58	-
Среднее замеренное значение,мм	10,12	9,68	-
Максимальное замеренное значение,мм	10,6	10,4	-
Количество замеров	45	75	-
Средний износ, %	8	12	-

Из результатов приведенных в таблице следует, что наибольший коррозионный износ конструктивных элементов МСП, равный приблизительно 12 % от начальной толщины стенки, достигается в зоне переменного смачивания. В подводной зоне коррозионный износ более низкий и колеблется в диапазоне 5-8,8 % (в зависимости от подводных течений). В атмосферной зоне коррозионный износ в среднем составляет 7 % [3]. Анализ большого количества статистического материала диагностики МСП, расположенных на различных месторождениях Черного моря показал, что средний коррозионный износ верхних поясов ферм платформы, например МСП-4, находящейся в эксплуатации более 30 лет, составляет 10,8 %, нижних поясов – 14,6 %, раскосов – 10 % и стоек 9 %. На платформе МСП-5, находящейся в эксплуатации более 20 лет и установленной в том же районе, коррозионный износ элементов верхних строений более высокий, чем в упомянутой выше платформы, и говорит о том, что интенсивность коррозионного поражения зависит от множества факторов [3]. Средняя скорость коррозии элементов верхних строений, находится в пределах 0,04-0,13 мм/год. Оценивая степень поражения металлоконструкций производственных опорных блоков МСП необходимо отметить, что все элементы платформ затронуты коррозией, однако интенсивность коррозионного процесса во

многом зависит от мест расположения элементов, их конструктивных особенностей и качества изготовления. Однако для всех МСП можно отметить одну очень важную тенденцию: фактическое состояние металлоконструкций надводных частей производственных блоков в зоне переменного смачивания характеризуется наибольшим коррозионным износом. Средний износ элементов в этой зоне составляет от 25 до 40 %. Максимальный износ отдельных элементов достигает 75-85 %. В настоящее время исследования специфика коррозионного воздействия продолжаются. По соглашению между авторами все права на защиту диссертации по материалам данной статьи принадлежат Староконь И.В.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бородавкин П.П. Морские нефтегазовые сооружения: учебник для вузов. Часть 1. Конструирование. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2006. – 555 с.
2. Колгушкин А.В., Беляев Н.Д. Влияние природных факторов на скорость коррозии морских ГТС // Предотвращение аварий зданий и сооружений-2009. – Режим доступа: URL: <http://www.pamag.ru/src/pressa/137.pdf>
3. Староконь И.В. О влиянии коррозионного воздействия на развитие усталостных трещин на морских нефтегазовых сооружениях (МНГС) // «Фундаментальные исследования» № 11 (часть 5). – 2012. – С. 1214-1220.
4. Цыкало В.В. Состояние причального фронта морских портов России // Наука и техника транспорта, 2005. – № 2. М., – С. 63-70.
5. СНиП 33-01-2003. Гидротехнические сооружения. Основные положения. – М.: Госстрой России, 2004.

УДК 004.252

ДЕКОМПОЗИЦИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ЗАДАЧ УПРАВЛЕНИЯ

Умбетов У.У., Ху Вен-Цен, Иманова У.Ж.

Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауезова, Шымкент,
e-mail: ainur.85@list.ru

Предложенный способ решения задачи (2) может быть охарактеризован как метод декомпозиции по типовым ситуациям. Соответственно, система управления, реализующая данный метод – как децентрализованная система ситуационного управления. Метод можно также рассматривать как способ проекции исходной задачи в подпространство эквивалентных подзадач для типовых ситуаций, или проекции множества допустимых решений исходной задачи U на подмножества U_k , $k=1,2,\dots,L$. Он представляется весьма перспективным, так как приближен к принципам естественного управления, реализуемого человеком. Он способствует повышению уровня интеллекта систем управления, приданию им более высокой гибкости и увеличению числа степеней свободы в принятии решений.

Ключевые слова: сложные технологические системы, задача управления

DECOMPOSITION DYNAMIC MANAGEMENT PROBLEMS

Umbetov W.W., Hu Wen-Price, Imanova U.J.

South Kazakhstan State University M. Auezova, Shymkent, e-mail: ainur.85 @ list.ru

The proposed solution to the problem (2) can be described as a decomposition method for typical situations. Accordingly, the control system that implements this method – as a decentralized system of contingency management. The method can also be seen as a way of projection of the original problem in a subspace equivalent subtasks for typical situations, or projections of the set of feasible solutions of the original problem into subsets U_k , $k=1,2,\dots,L$. He seems to be very promising, as close to the principles of natural control, implemented by man. It contributes to the level of intelligence management systems, giving them greater flexibility and increase the number of degrees of freedom in decision making.

Keywords: complex technological systems, the task of managing

Оптимизационные задачи, решаемые в автоматизированных системах управления, в общем случае являются динамическими и могут быть сформулированы в виде:

$$F(x, u, y, t) \rightarrow \max_{u(t)}, u(t) \in U, y(t) \in Y \quad (1)$$

где $x(t)$ – вектор возмущающих воздействий на объект управления; $u(t)$ – вектор управлений; $y(t)$ – вектор выходов объекта;

t – переменная времени; F – целевая функция; U, Y – множества допустимых значений для $u(t)$ и $y(t)$ соответственно.

В качестве решения данной задачи определяется функция времени $u(t)$, доставляющая максимум целевой функции $F(x, u, y, t)$ при изменении во времени возмущающего воздействия $x(t)$.

В развернутом виде задачу (1) можно представить следующим образом:

$$G(x, u, y, t) \rightarrow \max_{u(t) \in U}, U = \{ u : g(x, u, y, t) = 0; h(x, u, y, t) \geq 0 \}, \quad (2)$$

где g и h – заданные векторно-значные функции в математической модели объекта управления и ограничениях задачи.

Все соотношения, учитываемые в задаче (2) в качестве моделей и ограничений, задаются в классе интегро-дифференциальных уравнений и неравенств. Для промышленных объектов управления класса сложных технологических систем (СТС) число таких соотношений обычно велико, а векторные переменные имеют большую размерность, что обуславливает высокую сложность задач управления. Решение подобных задач в системах управления, имеющих традиционную централизованную структурную организацию, с соблюдением требований оперативности и точности выработки управляющих решений часто ока-

зывается затрудненным либо вовсе невозможным.

В этих случаях могут использоваться методы декомпозиции [1], реализуемые в децентрализованных системах управления с иерархической структурой. Методы декомпозиции предполагают сведение исходной сложной задачи к совокупности более простых совместно решаемых задач. В простейшем случае – это локальные задачи управления отдельными подсистемами, выделенными в составе СТС, решаемые на нижнем уровне, и глобальная задача координации, решаемая на верхнем уровне. Совместное решение локальной и координационной задач осуществляется в рамках итеративной процедуры межуровневого обмена данными, при котором в локальных

задачах учитываются заданные значения координирующих параметров, выбираемые в процессе решения задачи координации. Решением задачи координации являются такие значения ее переменных, при которых решения локальных задач обуславливают решение исходной задачи управления СТС в целом.

Для локальных задач управления также может быть применена двухуровневая процедура решения. В результате общая процедура решения исходной задачи управления СТС и реализующая ее система управления становятся многоуровневыми.

Методы декомпозиции разработаны в основном для статических задач управления, тогда как для динамических задач они проработаны в значительно меньшей мере. В данной статье будет рассмотрен предлагаемый метод декомпозиции для динамических задач управления СТС, основанный на сведении исходной задачи к последовательности статических задач, учитывающих ситуацию, сложившуюся на объекте управления к моменту принятия управляющих решений. В результате, решаемая задача оказывается декомпозированной по ситуациям. При этом, учитываемым ситуациям могут соответствовать упрощенные, подчас значительно, статические задачи управления.

Примем предположение о том, что в задаче управления (2) возмущающие воздействия $x(t)$ имеют природу кусочно-постоянной функции. Такое допущение вполне правомерно, поскольку основные возмущения при управлении промышленными объектами класса СТС обычно возникают вследствие изменения показателей качества перерабатываемого сырья, когда происходит переход с одной партии сырья на другую, либо изменения нагрузок на технологические агрегаты. И в том и другом случаях значения возмущающих параметров сохраняются неизменными достаточно продолжительное время и изменяются скачкообразно.

С учетом данного предположения становится возможным сведение динамической задачи управления (2) к последовательно решаемым статическим задачам вида:

$$F(x, u, y) \rightarrow \max_{u \in U} \quad (3)$$

$$U = \left\{ u : \begin{array}{l} g(x, u, y) = 0 \\ h(x, u, y) \geq 0 \end{array} \right\}$$

Такой способ решения задач типа (2) достаточно распространен. При этом структура задачи (3) обычно предполагается неизменной. Изменяются лишь исходные дан-

ные, которые учитываются при решении задачи. Если задача затруднена для решения по причине большой размерности и высокой сложности, к ней могут быть применены методы декомпозиции для статических задач.

Предлагаемый метод [2] основывается на том, что задача управления (3), в момент принятия управляющих решений, модифицируется по составу переменных, целевой функции, используемым математическим моделям и учитываемым ограничениям. Такая модификация осуществляется с целью максимального упрощения задачи, за счет сведения к минимуму числа переменных и соответствующего преобразования целевой функции и условий задачи. При этом модифицированная задача сохраняет эквивалентность исходной задаче. Результатом модификации должна стать возможность эффективного решения преобразованной задачи с использованием методов нелинейного программирования.

Принятие управляющих решений в данном случае производится на основе решения задачи управления (3) переменной структуры. При этом можно говорить о ее своеобразной декомпозиции, поскольку исходная задача управления сводится к совокупности упрощенных частных задач, решаемых раздельно, а их координации соответствует выбор частной задачи. Указанная декомпозиция может трактоваться как временная, т.е. осуществляемая во времени. Однако это не означает прямого учета в задаче фактора времени. Здесь он отражает лишь очередную модификацию задачи в момент принятия управляющих решений.

Необходимо заметить, что модификация задачи управления (3) и преобразование ее в более простую частную задачу означает ее некоторое огрубление. При этом в общем случае нельзя гарантировать полное совпадение решений исходной и модифицированной задач. Оно возможно лишь с некоторой погрешностью. Поэтому, говоря об эквивалентности данных задач, следует иметь в виду, что она подразумевается в определенных пределах. Данное обстоятельство, однако, не является препятствием для применения предлагаемого метода. При численном решении аналогичных задач в системах управления обычно определяется не искомый оптимум, а его некоторое приближение, т.е. решение всегда отыскивается с некоторой погрешностью. В связи с этим указанное расхождение в решениях исходной и модифицированной задач вполне допустимо. Важно только, чтобы оно не превышало заданного предельного значения. Кроме того, в реальных услови-

ях не требуется получение точных решений задачи управления еще и потому, что их воспроизведение на объекте управления с использованием автоматических систем регулирования и технических исполнительных устройств всегда осуществляется с погрешностью, существенно превосходящей погрешность решения задачи управления.

В основе модификации задачи (3) лежит оценка ситуаций, складывающихся на объекте управления в момент принятия управляющего решения. Под ситуацией, в самом широком смысле, понимается некоторая обобщенная характеристика текущего состояния объекта. Ситуацию может определять совокупность значений координат состояния СТС, состав их элементов, получивших приращение, величина и знак данного приращения, степень соблюдения действующих ограничений и др. В наиболее простом случае, когда принятие управляющих решений связывается только с возникновением возмущающих воздействий на объекте, в качестве оценки ситуации может использоваться текущее значение входной переменной x .

В предлагаемом методе, на основе анализа текущей ситуации определяется состав эффективных переменных задачи управления, соответствующая структура целевой функции, математической модели и условий в ограничениях. Все несущественные переменные отбрасываются, целевая функция, модели и ограничения упрощаются, что приводит к упрощению задачи управления в целом.

Важным достоинством метода является то, что он не предъявляет особых требований к структуре задачи управления, как это имеет место в случае обычных методов декомпозиции. В связи с этим он может быть использован практически в любой задаче оптимального управления. Важна лишь возможность разделения и распознавания ситуаций на объекте управления.

Рассмотрим содержательную сторону предлагаемого метода, названного декомпозицией по ситуациям или ситуационной декомпозицией.

Задача управления (3) сводится к совокупности частных подзадач, соответствующих определенным ситуациям на объекте управления. При этом возникает дополнительная задача распознавания текущей ситуации, которая определяет соответствующую частную задачу. Данная задача трактуется как задача координации, тогда как частная задача рассматривается, как аналог локальной задачи управления.

Задача распознавания текущей ситуации, отождествляемая с задачей координации, формулируется следующим образом:

$$\begin{matrix} 0 & 0 & 0 \\ (x, u, y) \end{matrix} : \rightarrow i, \bar{D}_i \quad (4)$$

где x, u, y – конкретные значения входных переменных x , управлений u и выходов y объекта управления соответственно, i – номер ситуации, $\bar{D}_i$ – множество переменных задачи управления (3), учитываемых в i -й ситуации, $\bar{D}_i \subset \bar{D} = X \cup U \cup Y$, X, U, Y – множества переменных x, u, y соответственно, R – оператор отображения вектора $\begin{matrix} 0 & 0 & 0 \\ (x, u, y) \end{matrix}$ в пару $i, \bar{D}_i$.

Смысл сформулированной задачи (4) заключается в том, что вектор текущих значений переменных x, u, y в момент принятия управляющего решения отображаются посредством оператора R в номер ситуации i и множество $\bar{D}_i$ переменных задачи (3), эффективных в данной ситуации. Значения функций f, g и h , не принимаются в расчет, поскольку однозначно определяются значениями своих аргументов x, u, y .

Частная или локальная задача формулируется в виде:

$$\begin{aligned} F_i(x_i, u_i, y_i) &\rightarrow \max_{u_i \in U_i \subset U} \\ U_i &= \left\{ u_i : \begin{aligned} g_i(x_i, u_i, y_i) &= 0 \\ h_i(x_i, u_i, y_i) &\geq 0 \end{aligned} \right\} \\ \bigcup U_i &= U \\ i &= 1, 2, \dots, N \end{aligned} \quad (5)$$

Здесь i – номер текущей ситуации, N – число возможных ситуаций, x_i, u_i, y_i – модифицированные векторы входов, управлений и выходов объекта, F_i – модифицированная целевая функция, U_i – модифицированное множество допустимых решений задачи, обусловленное модифицированными векторно-значными функциями g_i, h_i , U – множество допустимых решений исходной задачи.

Задачи (4)–(5) предполагают двухуровневую схему принятия управляющего решения.

В данной системе управления, координирующий орган оценивает текущую ситуацию в ОУ, путем ее идентификации на множестве учитываемых ситуаций, и формирует структуру модифицированной задачи (5) на основе задачи (3), за счет исключения в ней переменных малой значимости. Покомпонентный состав векторов переменных x_i, u_i, y_i в задаче (5) может быть различным и представлять собой некоторое подмножество $\bar{D}_i$ множества полного со-

става переменных $\overline{D}$. Отобранные таким образом компоненты векторов x_i, u_i, y_i являются наиболее эффективными в данной ситуации.

Рассмотренный принцип управления может рассматриваться как аналог адаптивного управления. Разница состоит в том, что вместо идентификации математической модели объекта управления, осуществляется идентификация ситуации на объекте, с последующей заменой исходной задачи управления модифицированной задачей, соответствующей текущей ситуации. Причем, если в случае адаптивного управления структура модели и задачи управления в целом остаются неизменными, структура модифицированной задачи (5) может изменяться. Таким образом, система управления приобретает свойство системы с переменной структурой, а объект управления становится декомпозированным по ситуациям. Система управления является и централизованной и распределенной одновременно, объединяя в себе принцип централизованного управления в рамках текущей ситуации с декомпозицией объекта управления по ситуациям, обуславливающей децентрализацию управления в целом.

Основная проблема, связанная с реализацией рассматриваемого подхода, состоит в построении оператора отображения R для идентификации текущих ситуаций. Задание его в аналитическом виде, в частности, в виде функции $R(x, u, y)$, как правило, не представляется возможным, поскольку сложно выявить закономерности, связывающие непрерывно изменяющиеся значения переменных задачи с дискретными значениями номеров ситуаций. По этой причине основным способом задания оператора R становится использование численных процедур селективного отбора признаков ситуаций. Поскольку в общем случае число возможных ситуаций оказывается чрезвычайно большим, притом, что полная спецификация каждой ситуации требует учета большого числа признаков, это приводит к сложным вычислительным схемам или необходимости построения экспертных систем.

Другая проблема состоит в выделении значимых переменных $\overline{D}_i$, подлежащих учету в модифицированной задаче (5) для каждого номера ситуации i . Такое выделение предполагает проведение оценки чувствительности выходных переменных y_i на допустимые в i -ой ситуации изменения управляющих переменных u_i при заданном значении x_i , либо решение дополнительной задачи идентификации модели объекта

управления с определением оптимальной структуры модели.

Для решения указанных проблем предлагается учитывать не все возможные ситуации, а только типовые, которых существенно меньше. Возникающие текущие ситуации соотносятся с типовыми и, при соблюдении определенных условий, приравниваются к конкретным типовым ситуациям. Качество управления может быть повышено за счет одновременного учета двух и более типовых ситуаций, когда возникающая текущая ситуация не может быть однозначно отнесена к одной из типовых ситуаций. На этот случай должен быть предусмотрен механизм выявления общих переменных для пересекающихся ситуаций, из которых формируется состав переменных модифицированной задачи управления, с добавлением к ним частных переменных учитываемых ситуаций.

Управление с использованием типовых ситуаций приближено к принципам управления производственными и технологическими процессами, реализуемого человеком. Использование полного состава параметров управления здесь наблюдается скорее в исключительных случаях, нежели в обычной практике. При этом, принимая решение, человек руководствуется накопленным опытом и систематизированными типовыми ситуациями, с которыми соотносит возникающие текущие ситуации.

Формализуем теперь рассмотренный принцип управления с декомпозицией по ситуациям. Обозначим через D – множество ситуаций, учитываемых в задаче (5), каждой из которых соответствует свой состав эффективных переменных. Предположим, что данное множество D допускает разбиение на L подмножеств D_k , $k=1, 2, \dots, L$, соответствующих типовым ситуациям. Все текущие ситуации оцениваются на принадлежность к определенному множеству D_k , $k=1, 2, \dots, L$, а задача (5) заменяется эквивалентной задачей для типовой ситуации D_k .

В наиболее простом случае типовые ситуации не будут иметь пересечений, т.е.

$$D_k \cap D_j = \emptyset, k=1, 2, \dots, L; \\ j=1, 2, \dots, L; k \neq j \quad (6)$$

Однако такое разграничение представляется скорее исключением, чем правилом. В более общем случае условие (6) не выполняется, т.е. типовые ситуации могут пересекаться по отдельным признакам. Тогда в задаче должны быть учтены все типовые ситуации, по которым имеет место пересечение.

Отнесение текущей ситуации к типовой осуществляется на основе вычисления всех

отличительных признаков текущей ситуации, с последующим сопоставлением их с системами признаков для отдельных типовых ситуаций. Ей будет соответствовать такая типовая ситуация, для которой имеет место совпадение по всем признакам. Отсутствие такой типовой ситуации будет означать принадлежность текущей ситуации к пересекающимся типовым ситуациям, т.е. наличие отличительных признаков текущей ситуации, которые принадлежат одновременно к различным типовым ситуациям.

С учетом данного обстоятельства задача координации для наиболее общего случая может быть сформулирована как задача определения отличительных признаков текущей ситуации, принадлежащих различным типовым ситуациям, с последующим объединением пересекающихся ситуаций. Данная задача может быть сформулирована следующим образом:

$$d = 0; a_j = 0, j = 1, 2, \dots, L;$$

$$\exists k = 1, 2, \dots, L; p_s \in P_k, s = 1, 2, \dots, S \Rightarrow$$

$$\Rightarrow d = 1; b_{ks} = 1; a_k = 1$$

$$\bar{D} = \bigcup \bar{D}_j, j = 1, 2, \dots, L \quad (7)$$

где d , b_{ks} и a_j – вспомогательные переменные, используемые в качестве индикаторов; p_s – s -й признак ситуации; P_k – множество отличительных признаков k -й типовой ситуации; $\bar{D}$ – множество переменных, учи-

тываемых в модифицированной задаче управления; $\bar{D}_i$ – пересекающиеся множества типовых ситуаций, для которых $a_j \neq 0$.

При отсутствии пересекающихся признаков задача сводится к последовательному перебору систем признаков типовых ситуаций P_k с целью отыскания системы, полностью совпадающей с признаками текущей ситуации. Данная задача может быть сформулирована в виде:

$$d = 1 \Rightarrow \sum_{s=1}^S b_{ks} \rightarrow \max_k, k = 1, 2, \dots, L;$$

$$\bar{D} = D_k^* \quad (8)$$

Решением данной задачи является $k=k^*$, для которого сумма значимых признаков типовой ситуации $\sum_{s=1}^S b_{ks}$ – максимальна.

Соответственно, множество учитываемых переменных модифицированной задачи управления – есть D_k^* .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ху Вен-Цен., Володин В.М. Об одном алгоритме декомпозиции в задачах оптимизации химико-технологических систем Ж.ТОХТ АН СССР, т. XII – №6 – 1978 – С. 889-895.
2. Ху Вен-Цен., Умбетов У. Децентрализованное управление многомерными объектами с декомпозицией по ситуациям ISSN 0002-3191. Известия Национальной академии наук Республики Казахстан, Серия физико-математическая – 2007 – №1 – С. 82-85.

УДК 004.252

ПОСТРОЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО СХТК С ГИБКОЙ ПЕРЕСТРАИВАЕМОЙ СТРУКТУРОЙ

Шукаев Д.Н., Умбетов У.У., Бексейтова А.Б.

*Казахский национальный технический университет им. К. Сатпаева, Алматы;
Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауезова, Шымкент,
e-mail: ainur.85@list.ru*

Рассматривается класс задач оптимального управления для объектов, характеризуемых как сложный химико-технологический комплекс (СХТК) с переменной структурой. Структурная организация СХТК определяется заданием поэлементного состава и учетом взаимных связей между выделяемыми компонентами системы. Оптимальная организация СХТК предполагает постановку и последующее эффективное решение оптимизационной задачи, учитывающей допустимые структурные изменения. Произведена постановка формализованной задачи оптимального управления СХТК и обоснована целесообразность использования для ее решения децентрализованного подхода, реализуемого в иерархических системах управления. Для учета фактора возможных структурных изменений предлагается использование в управлении элементов экспертных систем. Выполненные разработки применены в задаче проектирования и оптимального управления процессами вакуумной перегонки мазута в технологической установке углубленной переработки нефтепродуктов. Данная задача представляет интерес с точки зрения создания интеллектуальной АСУТП.

Ключевые слова: методы декомпозиции, сложная химико-технологическая комплекс

CONSTRUCTION OF OPTIMAL CCPF WITH A FLEXIBLY CHANGED STRUCTURE

Shukaev D.N., Umbetov U.U., Bekseytova A.B.

*Kazakh National Technical University im. K Satpaeva Almaty;
South Kazakhstan State University M. Auezova, Shymkent, e-mail: ainur.85 @ list.ru*

We consider a class of optimal control problems for objects characterized as a complex chemical-technological complex (SKHTK) with a variable structure. Structural organization SKHTK bitmap is defined by specifying the composition and consideration of the mutual relations between a component of the system. The optimal organization SKHTK involves staging and follow-effective solution to the optimization problem that takes into account the allowable structural changes. Made formal statement of the optimal control problem SKHTK and appropriateness of application solutions for its decentralized approach, implemented in hierarchical control systems. To take into account the factor of possible structural changes in the management of the proposed use of the elements of expert systems. Completed development applied to the problem of optimal design and management of processes in the vacuum distillation process plant deep processing of oil products. This problem is of interest in terms of the creation of intellectual control system.

Keywords: decomposition methods, the complex chemical-technological complex

В последнее время все возрастающую актуальность приобретают проблемы автоматизированного управления сложными технологическими процессами, в которых обеспечивается полный производственный цикл переработки исходного сырья в конечные товарные продукты либо реализуется сложный и многопараметрический механизм технологических операций. Важность указанных проблем обусловлена тем, что практиковавшийся ранее подход, сводившийся к управлению отдельными участками технологического процесса, не обеспечивает оптимальности на уровне всего процесса, а охват управлением всего технологического процесса связан с определенными затруднениями.

В большинстве случаев завершённые технологические процессы как объекты управления отличаются высокой сложностью. Это является следствием большого числа параметров, подлежащих учету, и сложным характером функциональных связей между ними, что приводит к возникновению трудно разрешимых задач управления. Для решения подобных задач приходится применять специальные методы, в частности методы

декомпозиции, реализуемых в рамках децентрализованных автоматизированных систем, использующих иерархическую схему принятия решений. Сложность решаемых задач управления еще более возрастает, когда технологический процесс может изменять свою внутреннюю структурную организацию. В этих случаях часто возникает необходимость применения экспертных систем.

В настоящей работе рассматривается класс задач оптимального управления для аналогичных объектов, характеризуемых как сложная химико-технологическая комплекс (СХТК) с переменной структурой.

Под структурой понимается совокупность входящих в СХТК элементов и существующие взаимные связи между ними. В качестве элементов могут рассматриваться компоненты технологических процессов в виде отдельных аппаратов, технологических агрегатов и установок, а так же их составных частей, этапов и стадий. Структурная организация СХТК означает задание и учет взаимных связей между выделяемыми компонентами системы.

Перестройка структуры СХТК может быть обусловлена изменением ряда факторов,

воздействующих на систему. Например, показатели качества перерабатываемого сырья, технологических и режимных параметров производства, состава производимых конечных продуктов и т.д. Учет возможных изменений в структуре приводит к соответствующей перестройке системы. При этом система всегда должна удовлетворять определенным эксплуатационным требованиям, выражаемым посредством принятой системы критериев.

Оптимальная организация СХТК предполагает постановку и последующее эффективное решение оптимизационной задачи, учитывающей допустимые структурные изменения.

К числу задач указанного класса, в частности, может быть отнесена задача проектирования и оптимального управления процессами вакуумной перегонки мазута в технологической установке углубленной переработки нефтепродуктов. Она представляет интерес с точки зрения создания интеллектуальной АСУТП с элементами экспертной системы.

Использование элементов экспертной системы продиктовано сложностью механизма технологического процесса, затрудняющего построение детерминированных математических моделей, адекватных реальным закономерностям. Это препятствует созданию эффективной АСУТП на базе традиционных методов моделирования и оптимизации, характерных для централизованных систем с детерминированными моделями.

Рассмотрим вариант задачи построения оптимальной СХТК с гибкой перестраиваемой структурой.

Пусть состояние СХТК однозначно определяется ее структурой и значениями режимных переменных для каждого элемента системы. В качестве критерия оптимальности функционирования системы примем некоторый качественный показатель конечного продукта, который является аддитивно – сепарабельной функцией переменных состояния системы. Требование сепарабельности критерия означает возможность его разделения на автономные составные части, соответствующие выделяемым элементам СХТК. В случае аддитивно- сепарабельной формы критерия обеспечивается возможность оптимизации значения критерия за счет автономной оптимизации каждой его составляющей.

Предположим, что система находится в некотором состоянии, обусловленном вектором определяющих факторов W^i , $i=1,...,m$, где m – число возможных состояний СХТК. Если в момент времени t вектор W^i изменится на W^{i+1} , необходимо изменить состояние системы и оптимизировать его в соответствии с выбранным критерием качества функцио-

нирования СХТК. При этом необходимо решить задачу оптимизации, состоящую из двух связанных между собой подзадач – выбора оптимальной структуры системы и определения значений режимных переменных при измененной структуре СХТК.

Рассмотрим подзадачу выбора оптимальной структуры системы. Введем в рассмотрение множество $W=\{W^i\}$, $i=1,...,m$ – множество векторов определяющих факторов СХТК и множество возможных структур системы $S=\{S_k\}$, $k=1,...,L$, где L – число допустимых структур СХТК, однозначно определяемое видом конкретного технологического процесса.

Определим математическое описание структур S_k .

Каждую структуру системы опишем квадратной матрицей $A=\|a_{ij}\|$ размерности (n^*n) . Элементы матрицы принимают следующие значения:

– $a_{ij}=1$, если возможна связь между i -м и j -м элементами;

– $a_{ij}=0$ в противном случае.

Если i -й элемент выключен, то $a_{ij}=0$, $j=1,...,n$. Матрицу A можно корректировать путем введения в нее новых связей между элементами или исключения существующих.

Введем в рассмотрение матрицу изменения структуры системы $B=\|B_{ij}\|$ размерности (n^*n) . Элемент $B_{ij}=-1$, если связь между i -м и j -м элементами исключается, если же связь между i -м и j -м элементами не нарушается или ее не существует, то $B_{ij}=0$.

Матрица B задает управляющие воздействия на структуру системы, т.е. включения – выключения элементов в состав системы.

Структуру системы в некоторый момент времени опишем матрицей текущей структуры $D=\|d_{ij}\|$, $i,j=1,...,n$, где $d_{ij}=1$, если имеется связь между i -м и j -м элементами и $d_{ij}=0$ в противном случае. Матрица D является композицией матриц A и B , т.е. $D=A+B$. Таким образом, элементы множества S можно описать совокупностью матриц D^k ($k=1,...,n$).

Задачу оптимизации гибкой СХТК сформулируем в виде, аналогичном задаче оптимизации децентрализованной системы [1]:

$$\max_{D^k} \max_{x,u,y} \sum_{i=1}^n f_i(x_i, D^k, u_i, y_i) \quad (1)$$

$$y_i = g(x_i, u_i), h_i(x_i, u_i, y_i) \geq 0 \quad (2)$$

$$D^k=A+B, C_{ij} = \psi(D_{ij}^k) \quad (3)$$

$$x_i = \sum_{j=1}^n C_{ij} y_j, i, j = 1, ..., n; k = 1, ..., L \quad (4)$$

где x_i , u_i , y_i – соответственно векторы входных, управляющих и выходных переменных

i -го элемента СХТК; $f_i(x_i, D^k, u_i, y_i)$ – целевая сепарабельная функция, описывающая эффективность функционирования i -го элемента; $g(x_i, u_i)$ – векторнозначная функция, определяющая связь между переменными i -го элемента; $h_i(x_i, u_i, y_i)$ – векторнозначная функция, учитывающая ограничения на переменные; C_{ij} – матрица связи между выходом j -го и входом i -го; оператор Ψ характеризует связь между элементами подматрицы D_{ij}^k матриц D^k и C_{ij} .

Уравнения (3) позволяют определить значения элементов матриц C_{ij} при переходе от одной структуры к другой.

В задаче статической оптимизации (1)–(4) необходимо найти максимум целевой функции путем выбора некоторой структуры системы и переменных, определяющих режимы функционирования элементов СХТК. Эта задача может быть решена путем перебора всех структур системы. При этом для каждой фиксированной структуры D^k необходимо оптимизировать режимные переменные. Однако такой подход малоэффективен, т.к. требует больших затрат машинного времени. По этой причине решение задачи (1)–(4) удобно разбить на два этапа. На первом этапе решается задача выбора оптимальной структуры, на втором этапе при найденной фиксированной структуре определяются субоптимальные значения режимных переменных.

Данная схема принятия решений соответствует схеме децентрализованного управления в двухуровневой распределенной системе. На нижнем уровне решается задача локальной оптимизации режимных параметров СХТК с учетом координирующих воздействий в виде заданной структуры системы. На верхнем уровне решается задача координации локальных задач в рамках решения задачи выбора оптимальной структуры системы.

Процесс выработки решения для исходной задачи строится в форме многошаговой итеративной процедуры обмена данными между координирующим органом на верхнем уровне и локальной системы управления – на нижнем уровне.

Задачу структурной оптимизации предлагается решать с использованием принципов распознавания образов. Для этого необходимо найти подмножество структур $S_j \subset S$ ($S_j \cup S_i = S, S_i \cap S_j = \emptyset$), близких к оптимальной, и затем среди этого подмножества, которое намного меньше множества S , выбрать оптимальную структуру.

При решении данной задачи используем методы классификации, позволяющие поставить в соответствие каждому вектору определяющих факторов W^j некоторое подмножество структур S_j . Для этого мно-

жество S разобьем по технологическому принципу на классы. Затем на основании экспериментальных данных и экспертных оценок найдем соответствие между классами множества S и некоторым подмножеством $W^* \subset W$.

С использованием W^* в качестве материала обучения, строится правило классификации, позволяющее разбить множество W на подмножества или классы. Такое разбиение может быть осуществлено с помощью метода группового учета аргументов [2]. В результате классификации W определяется класс структур, близких к оптимальной.

Далее для нахождения субоптимальной структуры необходимо произвести перебор всех структур, входящих в выбранный класс. При этом задача параметрической оптимизации (1)–(4) решается для заданной фиксированной структуры D^k .

Возникающая задача в общем случае является нелинейной, отличающейся большой размерностью и сложностью учитываемых функциональных ограничений. В связи с этим для ее решения предлагается использовать методы декомпозиции в сочетании с методами нелинейного программирования.

Рассмотренный подход использовался в задаче оптимального управления технологическим процессом в ректификационной колонне вакуумной перегонки мазута Шымкентского нефтеперерабатывающего завода. Разработана методика, алгоритмы и компьютерные программы для моделирования оптимальной системы с гибкой перестраиваемой структурой. Их применение позволило осуществить выбор оптимальной структуры технологического процесса для удовлетворения качественных различных показателей конечных продуктов в зависимости от показателей качества сырья, поступающего на переработку.

Произведенные экспериментальные расчеты показали достаточно высокую степень соответствия расчетных показателей реальным значениям. Отклонение расчетных значений для контролируемых параметров не превышала 12,3%, что с учетом допустимых погрешностей в используемых математических моделях, составляющих порядка 10%, может считаться вполне приемлемой. При повышении адекватности моделей указанная погрешность может быть значительно снижена.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Володин В.М., Журавлев Л.В., Елохин В.А. Некоторые особенности децентрализованных систем управления технологическими процессами // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности, 1984. – № 2. – С. 81-84.
2. Иващенко А.Г., Зайченко Ю.П., Димитров В.Д. Принятие решений на основе самоорганизации. – М.: Советское радио, 1976. – 279 с.

УДК 541.532.264

ИЗМЕРЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ АЛЮМЕЛИ В ТВЕРДОМ СОСТОЯНИИ

¹Кумыков В.К., ¹Сергеев И.Н., ²Созаев В.А., ²Гедгагова М.В.

¹ФГБОУ ВПО «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова»,
Нальчик, e-mail: koumykov@hotmail.com;

²ФГБОУ ВПО «Северо-Кавказский горно-металлургический институт», Владикавказ,
e-mail: sozaevv@kbsu.ru

Работа посвящена измерению поверхностного натяжения твердого сплава на основе никеля и алюминия, используемого в качестве элемента термопары в электронике. Измерения проводились компенсационным методом нулевой ползучести, разработанным для высокотемпературных измерений, на поликристаллических образцах цилиндрической формы. При температуре 1600 ± 40 К для поверхностного натяжения было получено значение 150040 мДж/м². Для сравнения приводятся данные поверхностного натяжения чистого никеля в твердом состоянии, а также соответствующие им значения поверхностного натяжения никеля в жидком состоянии.

Ключевые слова: поверхностное натяжение, нулевая ползучесть, алюминель, термопара

THE MEASUREMENT OF THE SURFACE TENSION OF ALUMEL IN THE SOLID STATE

¹Kumykov V.K., ¹Sergeev I.N., ²Sozaev V.A., ²Gedgagova M.V.

¹FGBOU VPO «Kabardin-Balkar state university n.a. Kh.M. Berbekov», Nalchik,
e-mail: koumykov@hotmail.com;

²FGBOU VPO «Nothern Caucasus mining-metallurgical institute», Vladikavkaz,
e-mail: sozaevv@kbsu.ru

The paper is devoted to the measurement of the surface tension of solid alloy on the base of nickel and alumina, using as an element of thermocouple in electronics. The measurements were done by compensation zero creep method, developed for the high temperature measurements, on the polycrystalline samples of cylindrical shape. At the temperature 1600 ± 40 K for surface tension the value 150040 mJ/m² was obtained. For comparison the surface tension data of pure Ni in the solid state, so as corresponding data of surface tension of Ni in the liquid state are given.

Keywords: surface tension, zero creep, alumel, thermocouple

Известно, что наибольшее распространение в производстве получили технические сплавы, которые зачастую, в отличие от чистых металлов, применяемых намного реже, удовлетворяют комплексу требований, выдвигаемых технологическими процессами.

Несмотря на обширный диапазон компонентных комбинаций, используемых в металлургии, многие сплавы, благодаря своим замечательным свойствам, не только наиболее известны, но и получили свои собственные названия. К их числу следует отнести сплав Вуда, нихром, мельхиор, электрон, ковар, инвар, элинвар, платинит, пермаллой, феррико и т.д.

Термопарные сплавы, к числу которых относятся хромель, копель, алюминель и т.д., широко применяются в пирометрии в качестве отрицательных термоэлектродов термопар, а также в виде компенсационных проводов для измерения температур. Однако поверхностные свойства указанных сплавов до настоящего времени не подвергались систематическому изучению. В связи с этим нами были проведены измерения поверхностного натяжения алюминели в твердой фазе.

Материал и методы исследования

При выборе объекта исследования нами было отдано предпочтение алюминели в связи с тем, что в ряду термопарных сплавов она имеет наиболее ограниченную область плавления, которая составляет порядка 20 градусов, в то время как копель и хромель плавятся в интервале температур, достигающем порядка 100 градусов. Состав алюминели соответствовал ГОСТ 1790-77 и в массовых процентах был следующим: Al – 2 %, Ni – 94 %, Mn – 2 %, Co – 0,8 %, Si – 1 %, Fe – 0,2 %. Измерения проводились компенсационным методом «нулевой ползучести» на поликристаллических образцах цилиндрической формы [2].

Особенностью высокотемпературного прибора, на котором проводились измерения, является электро-токовый разогрев образца [1, 7]. Градиент температуры в образце обеспечивается теплоотводом сверху массивными зажимами и снизу легким радиатором из исследуемого металла в виде изогнутой пластинки, навешиваемой на горизонтально расположенную часть образца. Подогреваемый экран из исследуемого металла обеспечивает предварительный нагрев образца.

В конструкции прибора учтены особенности проведения измерений при высоких температурах. Стальной корпус 1 цилиндрической формы установлен на массивной подставке 12 с микровинтами для регулирования положения прибора (рис. 1). Отвод 8 соединяет прибор с вакуумными магистральями и устройством для впуска в рабочую камеру инертного газа. Съемные части прибора – крышка 6, окна для наблюдения и прозрачный объем для коромыс-

ла механического рычага 13 вакуумно уплотняются с корпусом прибора фторопластовыми прокладками через встречные фланцы. Держатель термопары и зажим образца монтируются к крышке прибора. В ней же монтируются вводы: 3 – для термопары 7, 4 – для электротокowego питания образца 10. Вводы 3 и 4 также используются для подачи напряжения разряда при очистке поверхности образца в водороде.

Механический рычаг 18 с компенсационным грузом 19 устанавливается на опоре 14, которая может пе-

ремещаться с помощью сильфона 9 при установке образца в прибор. Компенсационный груз перемещается вдоль стержня коромысла с помощью кольцеобразного электромагнита 16. Коромысло 18 изготавливается из неферромагнитного материала (в данном случае из молибдена), который сохраняет свою механическую упругость при рабочей температуре в камере. Компенсационный груз изготавливается из ферромагнитного материала (никеля). Точное положение груза 19 фиксируется визуально с помощью двух шкал 17.

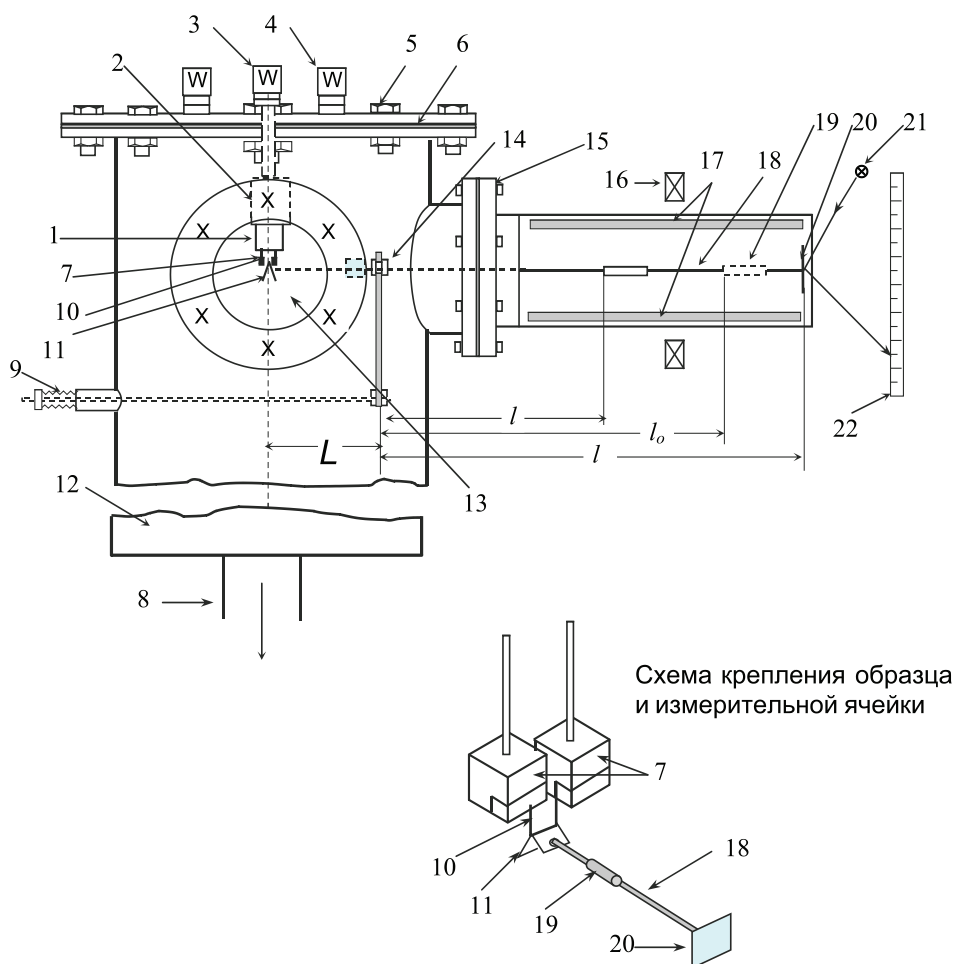


Рис. 1. Схема прибора для измерения поверхностного натяжения тугоплавких металлов

Один конец стержня 18 касается образца 10 через радиатор 11, а на другом его конце укреплено зеркальце 20, которое вместе с осветителем 21 и шкалой 22 составляет оптический рычаг, позволяющий обнаружить любое сжатие и растяжение образца по длине. Перед установкой в камеру образца и радиатора камера тщательно очищалась, с образца и радиатора снималась защитная пленка, затем их поверхность протиралась спиртом.

После откачки камеры до 10^{-5} мм рт. ст. и заполнения ее водородом с последующей откачкой до давления 2-5 тор образец подвергался очистке в газовом разряде. Затем прибор снова откачивался до давления 10^{-5} мм рт. ст.

Равновесие рычага устанавливалось перемещением компенсационного груза (до начала ползучести

образца) при рабочей температуре так, чтобы конец рычага только касался радиатора. При этом фиксируется нулевое положение «зайчика» на шкале отсчета. Это положение «зайчика» сохраняется путем соответствующего перемещения грузика при наступлении явления ползучести образца. В опыте измеряются перемещение компенсационного груза Δl и вес P нижней части образца. Величина P определяется путем отделения и взвешивания нижней части образца после опыта. Отделение производится в месте образования шейки, которая получается, увеличением нагрузки на образец перемещением грузика 19.

К числу систематических ошибок в данном эксперименте следует отнести влияние магнитного давления на образец, обусловленного прохождением электрического тока [4]. При прохождении тока

по проводнику азимутальное магнитное поле имеет такое направление силовых линий, что проводник с током испытывает действие радиальных сил, стремящихся сжать его. Поправка на «пинч-эффект» учитывается введением дополнительного члена в расчетную формулу. В конечном виде она записывается так:

$$\sigma = \frac{1}{\pi d} \left(P + \frac{\Delta I}{L} p + I^2 \right),$$

где d – диаметр образца при рабочей температуре, L – плечо рычага от точки опоры до образца, p – вес компенсационного грузика, I – сила тока.

Ранее описанным методом нами были проведены измерения поверхностного натяжения ряда тугоплавких металлов [3, 5, 10]. Из сплавов исследовалась только нержавеющая сталь [6].

Результаты исследования и их обсуждение

Для поверхностного натяжения алюминия было получено значение 150040 мДж/м^2 при температуре опыта $1600 \pm 40 \text{ К}$. Измерения проводились 5 раз, а полученные результаты подверглись статистической обработке с использованием распределения Стьюдента при доверительной вероятности 95 %. Поскольку в литературе отсутствуют данные по поверхностному натяжению термодинамических сплавов, как в твердой, так и в жидкой фазах, анализировать полученные данные весьма затруднительно. Однако, учитывая, что основу алюминия составляет никель (94%), мы провели сравнение наших данных с литературными данными по никелю. Поверхностное натяжение никеля при температуре 1670 К составляет 194046 мДж/м^2 [8], что на 440 мДж/м^2 выше, чем соответствующее значение для алюминия. (В жидкой фазе поверхностное натяжение никеля при температуре плавления составляет 1700 мДж/м^2 [9]). Это расхождение обусловлено тем, что в состав алюминия, наряду с никелем, входят алюминий и марганец, которые, являясь по-

верхностно-активными добавками, и приводят к снижению поверхностного натяжения сплава.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гедгагова М.В. О высокотемпературных измерениях поверхностного натяжения металлов в условиях вакуума / М.В. Гедгагова, Х.М. Гукетлов, В.К. Кумыков // Известия Российской академии наук. Серия физическая. – 2007. – Т. 71. – № 5. С. 631-633.
2. Кумыков В.К. Устройство для измерения поверхностного натяжения металлов в твердой фазе // Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов. – 2012. – № 4. – С. 159-164.
3. Кумыков В.К. Измерение поверхностного натяжения материалов электронной техники / В.К. Кумыков, Х.М. Гукетлов, М.В. Гедгагова // Известия Российской академии наук. Серия физическая. – 2006. – Т. 70. – № 4. С. 588-590.
4. Кумыков В.К. Влияние магнитного давления на поверхностное натяжение металлов в твердой фазе // Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов. – 2012. – № 4. – С. 154-158.
5. Кумыков В.К. Поверхностное натяжение цветных металлов на границе раздела твердая фаза – собственный пар / В.К. Кумыков, М.В. Гедгагова, А.Р. Манукянц // Известия высших учебных заведений. Цветная металлургия. – 2006. – № 4. – С. 44-47.
6. Кумыков В.К. Исследование поверхностного натяжения, работы выхода электрона стали X18H10T и адгезии к ней ртути и амальгамы таллия / В.К. Кумыков, Х.М. Гукетлов // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 2004. – № 3. – С. 43.
7. Gedgagova M.V. High-temperature measurements of surface tension of metals in vacuum / M.V. Gedgagova, Kh.M. Guketlov, V.K. Kumykov // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. – 2007. – Т. 71. – № 5. – С. 608-610.
8. Digilov R.M. The measurement of the surface tension of refractory metals in the solid state / R.M. Digilov, V.K. Kumykov, Kh.B. Khokonov // The Physics of Metals and Metallography. – 1976. – Т. 41. – № 5. – С. 68.
9. Kumikov V.K. The measurement of the surface tension of some pure metals in the solid state Materials Science and Engineering. – 1983. – Т. 60. – С. 23.
10. Kumykov V.K. Measurement of surface tension of electronic materials / V.K. Kumykov, Kh.M. Guketlov, M.V. Gedgagova // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. – 2006. – Т. 70. – № 4. – С. 677-680.

УДК 574.5

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ В ПОДГОТОВКЕ СТУДЕНТОВ ПО СПЕЦИАЛЬНОСТИ «ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ»

Телегина М.В., Янников И.М.*ФГБОУ ВПО «Ижевский государственный технический университет им. М.Т. Калашикова»,
Ижевск, e-mail: mari_tel@mail.ru*

Показана актуальность подготовки специалистов-экологов, владеющих современными программными системами для обработки, визуализации и анализа пространственно-координированной экологической, социальной и картографической информации. Рассмотрены особенности курса «Геоинформационные системы и экологическое картографирование», виды лабораторных работ, и созданные в университете системы, предназначенные для решения конкретных экологических задач.

Ключевые слова: геоинформационные системы, комплексные экологические карты, экологическое картографирование

GEOINFORMATION SYSTEMS AND ECOLOGICAL MAPPING IN PREPARATION OF STUDENTS ON THE SPECIALITY «SAFETY IN A TECHNOSPHERE»

Telegina M.V., Yannikov I.M.*The Izhevsk State technical university of a name of M.T. Kalashnikova, Izhevsk, e-mail: mari_tel@mail.ru*

The urgency of preparation of the experts-ecologists owning modern program systems for processing, visualization and the analysis of the spatial ecological, social and cartographical information is shown. Features of a rate «Geoinformation systems and ecological mapping», kinds of laboratory works, and the systems created at university intended for the decision of concrete ecological problems are considered.

Keywords: geoinformation systems, complex ecological cards, ecological mapping

Сегодня геоинформационные технологии продолжают развиваться в разных направлениях, и необходима подготовка специалистов-экологов, владеющих современными программными системами для обработки, визуализации и анализа пространственно-координированной экологической, социальной и картографической информации для решения различных задач: от простого создания карт отдельных экологических ситуаций до поддержки принятия решений для улучшения экологической обстановки.

На карты с применением геоинформационных технологий можно нанести не только географические, но и статистические, демографические, технические и многие другие виды данных и применять к ним разнообразные аналитические операции. Геоинформационные системы (ГИС) обладает уникальной способностью выявлять скрытые взаимосвязи и тенденции, которые трудно или невозможно заметить, используя привычные бумажные карты. Электронная карта, созданная в ГИС, поддерживается мощным арсеналом аналитических средств, богатым инструментарием создания и редактирования объектов, а также базами данных, специализированными устройствами сканирования, печати и другими техническими решениями, средствами Интернет – и даже космическими снимками и информацией со спутников.

В 2013 году впервые для студентов направления «Техносферная безопасность» ФБГОУ ВПО ИЖГТУ имени М.Т. Калашикова был введен курс «Геоинформационные системы и экологическое картографирование». Программа обучения составлена таким образом, чтобы дать студентам теоретические знания по ГИС технологиям и применяемым методам, умения создавать цифровые карты, анализировать пространственные данные, проводить научное обоснование и создание комплексных карт, отражающих экологическую ситуацию местности.

Начальная часть курса «Геоинформационные системы и экологическое картографирование» посвящена изучению общих принципов ГИС- технологий, проекций и координатных систем, методов организации данных в ГИС. Создание цифровой топографической карты описано как последовательность процедур от выбора исходного картографического материала на основе цели и задач картографирования, определения слоев и объектов карты до процесса создания легенды и документирования.

Комплексное экологическое картографирование становится актуальным из-за необходимости анализа и интеграции разносторонней экологической информации. Именно комплексные карты наиболее полно и точно отображают экологическую реальность, дают возможность всесторонне

учитывать изменения в природе или их влияние на человека.

Процессы выявления и картографирования экологических проблем и ситуаций взаимосвязаны и неделимы. Под выявлением экологических ситуаций понимают последовательность процедур:

- пространственную локализацию экологических проблем;
- установление перечня (набора) экологических проблем;
- определение комбинаций (сочетания) экологических проблем и отнесение выявленного ареала к той или иной степени остроты экологической ситуации.

Комплексные геоэкологические карты, опирающиеся на широкий спектр системных показателей – природных, социально-экономических, демографических – дают наиболее многостороннюю экологическую оценку территории.

В рамках изучения дисциплины рассмотрены: основные направления комплексного экологического картографирования, критерии оценки экологических проблем и ситуаций и их показатели, приведены два метода составления карт экологических ситуаций, предлагающих представление исходной информации в картографической форме в виде одномасштабных карт: с использованием аналитических (географических) экспертных оценок, и с использованием формализованных оценок.

Применение геоинформационных систем с использованием методов пространственного анализа поднимает технологию создания комплексных карт на новый уровень, позволяя широко использовать графические и аналитические возможности программного обеспечения ГИС.

Предусмотрено выполнение лабораторных работ, которые объединены одной целью – получением навыков применения технологии анализа и создания комплексных карт, отражающих экологическую ситуацию местности, эксплуатации с применением геоинформационных технологий.

Для выполнения лабораторных работ: анализа карт экологического содержания, создания топоосновы и экологического картографирования, использована ГИС «Quantum» (QGIS) – свободное, бесплатно распространяемое программное обеспечение для работы с географическими (пространственными) данными, которое позволяет просматривать, создавать, редактировать и анализировать пространственные данные в различных растровых и векторных форматах, а также форматы баз данных.

QGIS – динамично развивающаяся пользовательская ГИС. В настоящее вре-

мя QGIS – это кроссплатформенное приложение, т. е. программа, которая может работать на разных операционных системах (Windows, Linux, Mac OS). Открытость исходных кодов QGIS, возможность обмениваться данными с другими ГИС и расширять функциональность с помощью плагинов делает весьма перспективным использование этой программы в образовательных, научных и прикладных целях [1].

В рамках выполнения работы «Анализ экологических карт» студенты должны проанализировать специальную нагрузку выданных преподавателем карт экологической тематики на предмет определения способов картографических изображений, оценить степень соответствия выбранных способов картографических изображений особенностям отображаемых явлений и дать собственные предложения для графической интерпретации отображенных явлений.

Для составления и оформления авторской экологической карты необходимо выбрать способы изображения для экологической карты, уметь дать краткое обоснование выбранных способов и разработать систему условных обозначений.

Для отображения одновременно несколько явлений необходимо проанализировать их, выделив главные и второстепенные по значимости, применяя для изображения наиболее яркие, легко воспринимаемые способы. Тематику авторской экологической карты студенты могут выбирать, исходя из темы курсовой и/или дипломной работы. В качестве исходных материалов могут служить материалы, собранные во время производственных практик.

Одним из источников геопространственных данных являются данные дистанционного зондирования Земли. Для изучения свойств и методов получения аэрокосмических снимков в рамках изучения курса даются основы дешифрирования, включающие описание видов и методов дешифрирования, логического процесса дешифрирования, классификация объектов дешифрирования и дешифровочных признаков объектов местности.

Аэрокосмический мониторинг состояний природно-территориальных комплексов предусматривает выполнение работ не только по получению снимков, их обработке, дешифрированию созданию карт, но должен включать интерпретацию, оценку и прогноз развития ситуации, в отдельных случаях – поддержку принятия решений по поддержанию природной среды. В рамках изучения основ дешифрирования природно-территориальных комплексов рассмотрены комплексные признаки дешифрирования,

отражающие структуру природно-территориальных комплексов, которые являются более определенными и устойчивыми, чем прямые признаки их элементов. Они и составляют основу ландшафтного метода дешифрирования.

Для районирования и создания карт экосистем на ландшафтной основе необходимо выделить не только типы растительности, но и определить присущий экосистеме животный мир. Формирование признаков для распознавания растительности зависит от состава жизненных форм, определяемых формами роста и биологическими ритмами. Деревья дают на аэроснимках, даже мелкомасштабных, дифференцированное, а на крупномасштабных и специфическое изображение. Для цели мониторинга низших животных, определения взаимосвязи между растительностью и наличием животного мира используется возможность использования растительности и других компонентов экосистемы в качестве индикаторов зооценоза.

В целях закрепления знаний по дешифровочным признакам проводится лабораторная работа по дешифрированию аэрокосмических снимков. Студентами на основе прямых и косвенных признаков дешифрирования распознаются объекты снимка и ситуация, определяются геометрические характеристики объектов, информационная емкость снимков.

Особенностью данного курса является его методическая и практическая подготовленность к обучению студентов. К началу проведения занятий в соответствии с рабочей программой были разработаны и опубликованы в издательстве ИжГТУ: учебное пособие «Геоинформационные системы и экологическое картографирование» [2] и методические указания по всем выполняемым лабораторным работам.

Для иллюстрации ГИС технологий и интеллектуальных методов, применяемых при анализе пространственных данных и поддержке принятия решений, используются созданные в ИжГТУ системы, предназначенные для решения конкретных экологических задач [3]:

- автоматизированная система расстановки пространственной сети экологического мониторинга;

- система поддержки принятия решений при авариях на химически опасных объектах;

- система моделирования зоны распространения загрязняющих веществ при авариях на промышленных объектах;

- система расчета концентрации загрязняющих веществ в компонентах окружающей среды и другие.

Таким образом, при изучении дисциплины выполняются задачи:

- обучения студентов теоретическим основам, информационным технологиям создания цифровых топографических и экологических карт,

- развития логического мышления и умения студента анализировать и показывать процессы в окружающей среде с применением ГИС технологий;

- приобретения практических умений и навыков при решении задач с применением геоинформационных технологий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Quantum GIS / Материалы официального сайта. – URL: <http://www.qgis.org> (дата обращения: 18.01.2013).
2. Телегина М.В., Янников И.М. Геоинформационные системы и экологическое картографирование: учебное пособие. – Ижевск: Изд-во ИжГТУ. – 2012. – 93 с.
3. Телегина М.В. ГИС технологии в учебном процессе ИЖГТУ: опыт, разработки и перспективы // Вестник ИжГТУ. – Ижевск: Изд-во ИжГТУ. – № 3. – 2012. – С. 133-137.

УДК 552.3:550.4:550.42:550.93

**ПЕТРОЛОГИЯ АНОРОГЕННЫХ ГРАНИТОИДОВ
БЕЛОУБИНСКО-КОКСИНСКОГО МЕЖДУРЕЧЬЯ
(ПРИГРАНИЧНЫЕ ОБЛАСТИ РЕСПУБЛИК АЛТАЙ И КАЗАХСТАН)**

Гусев А.И.

*Алтайская государственная академия образования им. В.М. Шукшина, Бийск,
e-mail: anzerg@mail.ru*

В статье рассмотрены актуальные вопросы петрологии анорогенных гранитоидов Белоубинско-Коксинского междуречья приграничных территорий Казахстана и Республики Алтай. Массивы этих биотитовых и двуслюдяных умеренно-щелочных гранитов и лейкогранитов относятся к калбинскому комплексу поздней перми. Среди них выявлены два подтипа: A_1 и A_2 . В них проявлен тетрадный эффект фракционирования РЗЭ М-типа. Формирование гранитоидов происходило в результате плавления граувакк и пералюминиевых лейкогранитов. Ультракислые разности пород генерировались в результате фракционирования ортоклаза и альбита. С массивами гранитоидов связано кварцево-жильное, грейзеновое, пегматитовое оруденение Sn, Ta, Nb, W, Mo.

Ключевые слова: петрология, анорогенные гранитоиды, тетрадный эффект фракционирования РЗЭ, фракционирование ортоклаза, альбита

**PETROLOGY OF ANOROGENIC GRANITOIDS OF BELOUBINSKO-KOKSINSKOE
INTERRIVERS (NEAR BORDER REGIONS OF REPUBLIC ALTAI AND KAZAKHSTAN)**

Gusev A.I.

The Shukshin Altai State Academy of Education, Biisk, e-mail: anzerg@mail.ru

Vital questions of petrology of Beloubinsko-Koksinskii interrivers of near border regions Kazakhstan and Republic Altai discern in paper. Massifs of it biotites and two-mica moderate alkali granites and leucogranites carry off Kalbinskii complex late Permian. Two subtypes: A_1 and A_2 reveal between its. Tetrad effect fractionation of REE M-type display in granitoids. Forming of granitoids happen in result of melting graywacke and peraluminous leucogranites. Ultra acid variety of rocks generated in result fractionation of orthoclase and albite. Quartz lode, greisens and pegmatites ore mineralization of Sn, Ta, Nb, W, Mo related with granitoids.

Keywords: petrology, anorogenic granitoids, tetrad effect fractionation of REE, fractionation of orthoclase and albite

Анорогенные гранитоиды позднепермско-раннетриасового возраста калбинского типа на территории Алтая и Казахстана имеют важное металлогеническое значение. С ним связаны жильные, грейзеновые, пегматитовые месторождения Sn, W, Mo, Ta, Nb, что и определяет актуальность исследования. Интрузивные образования, отнесенные к калбинскому комплексу, на рассматриваемой Российской части представлены единственным мелким Верхне-Коксинским массивом в Холзунско-Сарымсактинской зоне в верховьях реки Коксочки. Данный комплекс выделен на смежных к северо-западу территорий Казахстана и северо-западного Алтая [4], где представлен массивами гранитоидов нормальной и повышенной щелочности [2]. Цель работы – исследование петрологии анорогенных гранитоидов восточной части Казахстана и приграничной территории Республики Алтай.

Результаты исследований. На смежной к западу казахстанской части площади интрузивные образования калбинского комплекса слагают ряд крупных массивов: Белоубинский, Нарымкинский, Талово-Тургусунский, Березовский. Наиболее крупный и приближенный к Верхне-Коксинскому Белоубинский массив, по данным Е.С. Левицкого (1961), рассма-

тривающего данные гранитоиды в составе пермского калбинского комплекса, сложен однообразными порфировидными гранитами повышенной щелочности с небольшим преобладанием калия над натрием ($Na_2O = 3,50\%$, $K_2O = 4,80\%$ при $SiO_2 = 71,73\%$). Характерно снижение глиноземистости (индекс Шенда в гранитах = 1,02, в лейкогранитах = 0,97) и известковистости ($K_i = 0,14$ в гранитах, 0,04 – в лейкогранитах) и повышение апгитности (K_a в гранитах = 0,6, в лейкогранитах = 0,69) в породах более поздней фазы.

Верхне-Коксинский массив имеет очень небольшую (менее 1 км²) площадь выходов, овальную удлинённую в северо-северо-западном (согласно простиранию Тегерекского разлома) направлении. В их составе неравномернозернистые до порфировидных и пегматоидные мусковит-биотитовые граниты. Наряду с тем, в эндоконтактной части массива фиксируется развитие альбититов монцонит-сиенитового состава ($Na_2O = 7,62\%$, $K_2O = 2,86\%$ при $SiO_2 = 62,19\%$), а в сланцах – окварцевание (до образования слюдистых кварцитов), актинолитизация, турмалинизация.

Граниты Верхне-Коксинского массива характеризуются неравномерной зернистостью и порфировидностью с ва-

риацией от мелко-среднезернистых до крупнозернистых с размерами отдельных зерен кварца и полевого шпата до 1 см и более, примерно равными количественными соотношениями плагиоклаза, нередко представленного шахматным альбитом (он образует крупные зерна и иногда преобладает), и калиевого полевого шпата, представленного микроклином и амазонитом, часто фиксируется развитие мусковита по биотиту, в отдельных случаях фиксируется присутствие флюорита в прожилковидных скоплениях. Петрографически и петрохимически гранитоиды Верхне-Коксинского массива определяются как мусковитовые и мусковит-биотитовые микроклин-альбитовые лейкократовые граниты умеренно-щелочной серии с преобладанием натрия над калием ($\text{Na}_2\text{O} = 5,39\%$, $\text{K}_2\text{O} = 3,76\%$ при $\text{SiO}_2 = 73,21\%$; $\text{Kk} = 0,31$). Химический состав пород характеризуется высокой железистостью ($\text{Kж} = 0,76$), низкими содержаниями магния и кальция ($\text{Ки} = 0,04$) при повышенной глиноземистости (индекс Шенда = 1,08) и высокой апгаитности ($\text{Ка} = 0,64$), что позволяет идентифицировать данные гранито-

идами с геохимическим типом анорогенных гранитов А-типа, характерных для рифтогенной стадии внутриконтинентальных поздне-коллизийных геодинамических обстановок. Северо-западнее, на смежных листах Западного Алтая, в пределах петротипического Синюшинского ареала данного комплекса, лейкограниты третьей фазы характеризуются еще более высокой глиноземистостью (индекс Шенда = 1,13), а по своим петрохимическим особенностям и содержанию редких элементов (г/т, данные О. В. Мурзина: $\text{Sr} = 127$, $\text{Ba} = 190$, $\text{Rb} = 169$, $\text{Li} = 29$, $\text{Cs} = 2,6$, $\text{Nb} = 58$, $\text{Ce} = 101$) уклоняются к гранитам А-типа по Уолену и Коллинзу [11]. По нашим данным, в Верхне-Коксинском массиве содержания редких и радиоактивных элементов (в г/т: $\text{Ga} = 35$, $\text{Rb} = 103-108$, $\text{Ba} = 189$, $\text{Sr} = 84$, $\text{Y} = 26-12$, $\text{Zr} = 60-78$, $\text{Nb} = 84-103$, $\text{La} = 5,4-23,0$, $\text{Ce} = 16-64$, $\text{Yb} = 7,3-8,3$, $\text{Ta} = 1,7-1,8$, $\text{Th} = 15-17$, $\text{U} = 4,2-4,6$) даже при повышенных содержаниях рубидия более свидетельствуют о принадлежности пород гранитоидам анорогенного типа. Представительные анализы гранитоидов района сведены в таблице.

Т а б л и ц а

Химические составы пород массивов Белоубинско-Коксинского междуречья

Оксиды, %, элементы – г/т	1	2	3	4	5	6	7
SiO_2	71,75	75,6	74,7	73,3	75,8	73,21	77,19
TiO_2	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06	0,07	0,06
Al_2O_3	13,8	13,01	12,5	13,8	13,0	14,2	12,01
Fe_2O_3	0,48	0,32	0,30	0,40	0,30	0,45	0,28
FeO	1,05	0,98	1,02	1,05	1,11	0,91	0,84
MnO	0,08	0,05	0,10	0,07	0,09	0,06	0,05
MgO	0,6	0,14	0,48	0,50	0,15	0,55	0,10
CaO	0,9	0,35	0,35	0,80	0,39	0,90	0,36
Na_2O	3,51	4,61	4,28	4,25	4,28	5,39	3,54
K_2O	4,82	4,43	4,23	4,35	4,65	3,76	5,62
P_2O_5	0,05	0,04	0,05	0,04	0,03	0,05	0,05
Σ	99,96	99,97	99,86	99,83	100,0	99,85	100,36
Ga	30,5	30,3	32,3	30,2	30,4	35,0	33,4
Rb	110	352	123	124	447	108	103
Sr	28	15,5	17	17	15,6	26	12
Y	58	40	58	59	39,0	60	78
Zr	83	61	87	86	62	84	103
Nb	24	95,4	25	26	97,5	23	22
Mo	1,1	1,1	1,3	1,6	1,0	1,5	1,1
Sn	3,5	2,3	2,5	2,4	2,14	3,7	2,3
Cs	1,1	11,8	0,9	0,9	11,2	0,8	1,6
Ba	190	80	183	182	78	189	156
La	5,5	12,4	2,8	2,8	12,5	5,4	23
Ce	16,1	30,5	23	22	31,3	16	64

Окончание таблицы

Pr	2,1	2,3	1,2	1,1	2,32	2,0	7,5
Nd	8,7	7,1	5,1	5,2	7,29	8,6	30
Sm	3,4	2,1	2,4	2,4	2,12	3,3	8,3
Eu	0,35	0,12	0,28	0,3	0,11	0,3	0,6
Gd	5,8	2,0	4,8	4,8	2,04	5,7	9,8
Tb	1,4	0,35	1,2	1,3	0,4	1,3	1,9
Dy	11,5	3,31	9,5	10,1	3,45	10	13,0
Ho	2,4	0,91	2,2	2,3	0,96	2,3	2,7
Er	7,3	3,85	7,1	7,2	3,91	7,1	7,8
Tm	1,2	0,95	1,2	1,1	1,02	1,1	1,3
Yb	7,4	8,6	7,0	7,1	9,33	7,3	8,3
Lu	1,2	1,0	1,1	1,0	1,72	1,1	1,2
ΣPЗЭ	132,35	115,49	126,88	127,7	117,47	131,5	257,4
Hf	5,0	4,5	4,9	4,8	5,0	4,9	5,7
Ta	2,0	1,9	1,6	1,6	1,8	1,7	1,8
W	1,8	1,7	1,5	1,5	1,6	1,7	1,3
Th	16	16,2	15,5	15	16,1	15,0	17,0
U	4,5	4,6	3,3	3,1	4,5	4,2	4,6
Cr	10,5	9,3	8,1	8,4	9,78	10,0	9,5
V	8,0	6,1	5,5	5,8	6,4	7,0	6,6
Cu	13,0	12,0	13,1	13,0	12,7	13,1	12,8
Zn	12,5	10,3	12,0	12,5	10,6	12,0	11,5
Pb	51,5	45	48,5	51,2	49	50,0	48
Sb	1,3	1,1	1,2	1,1	1,03	1,1	1,05
Be	6,1	6,0	6,1	6,2	5,8	6,0	5,9
TE ₁	1,19	1,27	1,96	1,82	1,26	1,17	1,18
TE _{1,3}	1,18	1,07	1,54	1,51	1,08	1,13	1,12
Eu/Eu*	0,24	0,18	0,25	0,27	0,16	0,21	0,20
(La/Yb) _N	0,49	0,95	0,26	0,26	0,89	0,49	1,83
(Sm/Yb) _N	0,49	0,26	0,37	0,36	0,24	0,49	1,08
(Gd/Yb) _N	0,63	0,19	0,55	0,54	0,18	0,63	0,95
Ta/Nb	0,083	0,02	0,064	0,061	0,018	0,073	0,081
Rb/Cs	100,0	29,8	136,7	137,8	39,9	135,0	64,4
Rb/Sr	3,93	22,7	7,23	7,29	28,6	4,15	8,58
Th/U	3,56	3,52	4,7	4,84	3,58	3,57	3,7
K _{апп}	0,6	0,69	0,68	0,62	0,69	0,64	0,76

Примечание. Анализы выполнены: силикатные – химическим анализом, на микроэлементы – методом ICP-MS и ICP-AES в лаборатории ИМГРЭ (г. Москва). N – элементы нормированы по [5]. TE_{1,3} – тетрадный эффект фракционирования PЗЭ (среднее значение между первой и третьей тетрадами) по В. Ирбер [9]; TE₁ – тетрадный эффект фракционирования PЗЭ первой тетрады; K_{апп} – коэффициент апгаитности (Na₂O+K₂O): Al₂O₃. Белоубинский массив: 1 – гранит умеренно-щелочной, 2 – лейкогранит умеренно-щелочной; Берёзовский массив: 3 – лейкогранит умеренно-щелочной; Нарымкинский массив: 4 – лейкогранит умеренно-щелочной; Талово-Тургусунский массив: 5 – лейкогранит умеренно-щелочной; Верхне-Коксинский массив: 6 – лейкогранит умеренно-щелочной, 7 – аляскит умеренно-щелочной.

Химический состав пород позволяет сделать некоторые выводы: 1 – породы сравниваемых массивов весьма близки по химизму; 2 – они имеют высокие торий-урановые отношения, свидетельствующие о сравнительно не изменённых наложенными процессами породах; 3 – в них отмечается почти не дифференцированный тип распределения PЗЭ; 4 – в породах проявлен

тетрадный эффект фракционирования PЗЭ; особенно заметен он для первой тетрады редкоземельных элементов; максимальные значения TE₁ выявлены для лейкогранитов умеренно-щелочных Нарымкинского (1,96) и Талово-Тургусунского (1,82) массивов, характеризующихся наличием редкометалльных пегматитов. По соотношению Y, Nb, Ga, позволяющему разделить гранито-

иды на 2 подтипа: A_1 и A_2 [1, 6]. Устанавливается, что большая часть анализов пород анализируемых массивов попадают в поле A_2 типа гранитоидов, а умеренно-щелочные лейкограниты Белоубинского и Талово-Тургусунского массивов – в поле A_1 гранитоидов (рис. 1).

Модель распределения РЗЭ на диаграмме показывает европейский минимум для всех пород анализируемых интрузивных массивов и выпуклую кривую для первой и третьей тетрад редкоземельных элементов, характерных для тетрадного эффекта

распределения редкоземельных элементов М-типа (рис. 2).

На диаграммах композиционных экспериментальных расплавов (рис. 3, а; 3, б) анализируемые породы попадают в область плавления метаграувак, а на рис. 3, с умеренно-щелочные лейкограниты Белоубинского, Талово-Тургусунского массивов и умеренно-щелочной аляскит Верхнекоксинского массива тяготеют к экспериментальным расплавам плавления пералюминиевых лейкогранитов.

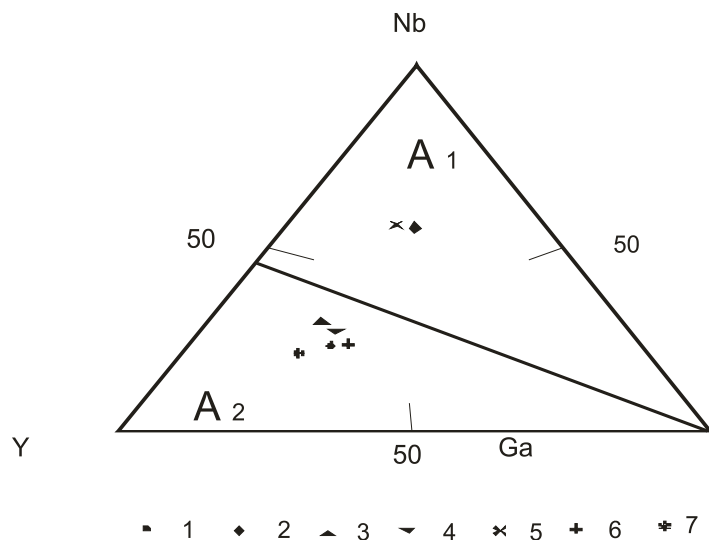


Рис. 1. Диаграмма Y-Nb-Ga по Дж. Эби [6]

для гранитоидов Белоубинско-Коксинского междуречья Белоубинский массив:

1 – умеренно-щелочной гранит, 2 – умеренно-щелочной лейкогранит;

3 – лейкогранит умеренно-щелочной Берёзовского массива; 4 – лейкогранит умеренно-щелочной Нарымкинского массива; 5 – умеренно-щелочной лейкогранит Талово-Тургусунского массива; Верхне-Коксинский массив; 6 – умеренно-щелочной лейкогранит, 7 – умеренно-щелочной аляскит

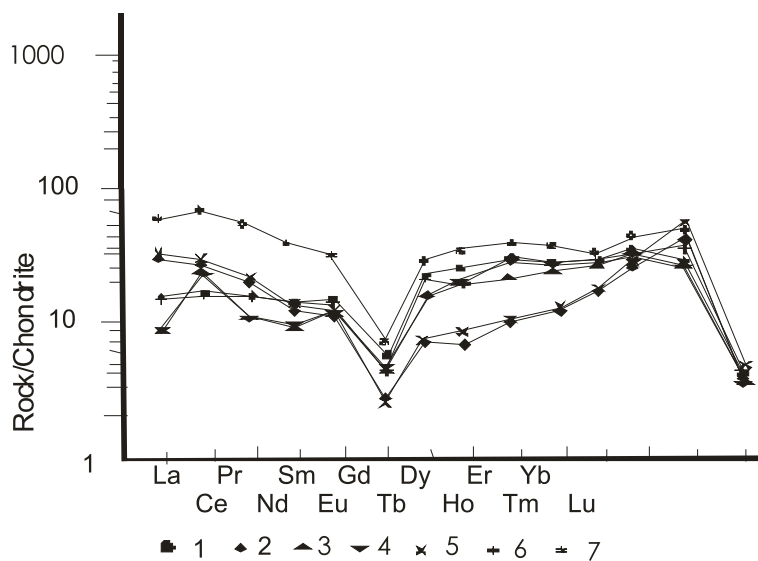


Рис. 2. Модель распределения РЗЭ, нормированных относительно хондрита по [5] для породных типов интрузий Белоубинско-Коксинского междуречья.
(Условные обозначения те же, что на рис. 1)

Ультракислые породы всех массивов располагаются на максимуме степени известково-щелочного фракционирования ортоклаза и альбита. Экспериментально установлено, что этой ситуации могут отвечать: уменьшение щёлочности в процессе взаимодействия вода-породы или небольшая степень ассими-

ляции пелитов, которые и будут легко увеличивать показатель A/CNK , что и имеет место для конечных дифференциатов анализируемых массивов (рис. 3, d).

На диаграмме $A/NK - A/CNK$ по Маньяру и Пикколи [10] породы всех массивов попадают в поле пералюминиевого типа (рис. 4).

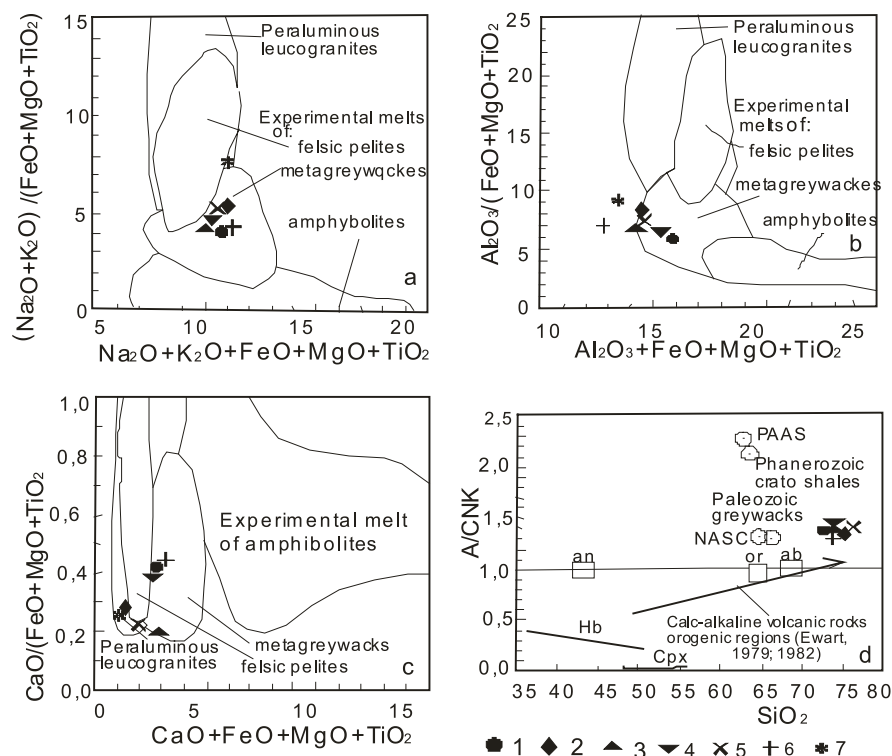


Рис. 3. (a), (b), (c) – диаграммы композиционных экспериментальных расплавов из плавления фельзических пелитов (мусковитовых сланцев), метаграувак и амфиболитов [11] для пород массивов Белоубинско-Коксинского междуречья; (d) – диаграмма ($SiO_2 - A/CNK$) для пород массивов Белоубинско-Коксинского междуречья. Тренд известково-щелочного фракционирования вулканических пород орогенных регионов по [7, 8]. $A - Al_2O_3$, CNK – Сумма CaO , Na_2O , K_2O . Условные обозначения те же, что на рис. 1

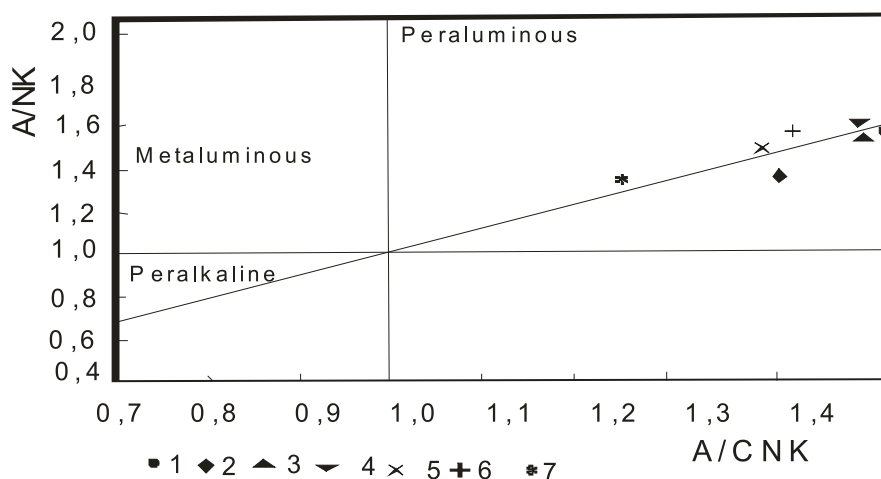


Рис. 4. Диаграмма $A/NK - A/CNK$ по Маньяру и Пикколи [10] для пород массивов Белоубинско-Коксинского междуречья. Остальные обозначения на рис. 1. $A = Al_2O_3$, $N = Na_2O$, $K = K_2O$, $C = CaO$

Обсуждение результатов. Ранними исследованиями [3] высказано предположение о генезисе калбинских гранитов за счёт плавления богатых глинозёмом песчано-сланцевых метapelитов. Наши исследования значительно уточняют некоторые вопросы генезиса и номенклатуры этих гранитов. Приведенные результаты показывают, что описанные гранитоиды являются неоднородными и относятся к анорогенным гранитоидам двух подтипов: A_1 и A_2 . Их формирование происходило в результате плавления граувакк, а также – пералюминиевых лейкогранитов. В их генерации прослеживается важная роль мантийно-корового взаимодействия, которое протекало по следующему сценарию: плавление мантийного источника типа ЕМ II, выявляемое по изотопии стронция и неодима [2]. Кроме того, формирование ультракислых членов генетически связано с фракционированием альбита и ортоклаза с одновременной контаминацией корового материала пелитового состава. В распределении РЗЭ в породах выявлен М-тип тетрадного эффекта, сопровождавшегося высокими концентрациями и активностями флюидов, обогащённых фтором, водой и другими летучими компонентами.

Выводы

Таким образом, гранитоиды Белоубинско-Коксинского междуречья относятся к анорогенному типу и двум подтипам A_1 и A_2 . Все породы массивов относятся к пералюминиевому типу. Их формирование связано с плавлением граувакк и пералюминиевых лейкогранитов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гусев А.И. Дискриминация анорогенных гранитоидов // Современные наукоемкие технологии, 2011. – №3. – С. 7-8.
2. Гусев А.И., Гусев Н.И., Белозерцев Н.В. Посткинематические гранитоиды Калба-Нарымской зоны Казахстана и Алтая: петрология и флюидный режим // Успехи современного естествознания, 2011 – № 5. – С. 40-44.
3. Лопатников В.В., Изох Э.П., Ермолов П.В., Пономарёва А.П. Магматизм и рудоносность Калба-Нарымской зоны Восточного Казахстана. – М.: Наука, 1982. – 248 с.
4. Шокальский С.П., Бабин Г.А., Владимиров А.Г. и др. Корреляция магматических и метаморфических комплексов западной части Алтае-Саянской складчатой области. – Новосибирск, 2000. – 187 с.
5. Anders E., Greevesse N. Abundances of the elements: meteoric and solar // *Geochim. Cosmochim. Acta*, 1989. – V. 53. – P. 197-214.
6. Eby G.H. Chemical subdivision of the A-type granitoids: Petrogenetic and tectonic implications // *Geology*. 1992. – Vol. 20. – P. 641-644.
7. Ewart A. A review of the mineralogy and chemistry of Tertiary – Recent dacitic, latitic, rhyolitic and related salic rocks. – *Trondjemites, Dacites and Related Rocks*. – Amsterdam, 1979. – PP. 13-121.
8. Ewart A. The mineralogy and petrology of Tertiary – Recent orogenic volcanic rocks: with special reference to the andesitic-basaltic compositional range. – *Andesites: Orogenic Andesites and Related Rocks*. – Chichester, 1982. – Pp. 25-95.
9. Irber W. The lanthanide tetrad effect and its correlation with K/Rb, Eu/Eu*, Sr/Eu, Y/Ho, and Zr/Hf of evolving peraluminous granite suites // *Geochim Cosmochim. Acta*. 1999. v.63, №3/4, p. 489-508.
10. Maniar P.D., Piccoli P.M. Tectonic discrimination of granitoids // *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 1989. – V. 101. – PP. 635-643.
11. Patiño Douce, A.E. What do experiments tell us about the relative contributions of crust and mantle to the origins of granitic magmas? // *Geol. Soc. London, Spec. Publ.*, 1999. – V. 168. – PP. 55-75.
12. Whalen, J.B., Currie, K.L., Chappell, B.W. A-type granites: geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis // *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 1987. – V. 95. – P. 407-419.

УДК 553.3/4.078:553.2:551.73

ГИПЕРСОЛЬВУСНЫЕ И ТРАНССОЛЬВУСНЫЕ АНОРОГЕННЫЕ ГРАНИТОИДЫ СОЛОНЕШЕНСКОГО РУДНОГО РАЙОНА ГОРНОГО АЛТАЯ

Гусев А.И., Гусев Н.И.

*Алтайская государственная академия образования им. В.М. Шукшина,
Бииск, e-mail: anzerg@mail.ru*

В статье приведены данные по двум подтипам анорогенных гранитоидов Солонешенского рудного района Алтай, генерация которых проходила в сложных условиях мантийно-корового взаимодействия. Установлены различные источники плавления мантийного и корового субстратов для гиперсольвусных и транссольвусных гранитов. Гиперсольвусные рибекитовые лейкограниты Елиновского массива формировались с участием тетрадного эффекта фракционирования РЗЭ М-типа и генерировали альбититовое и скарновое уран-редкометалльно-редкоземельное оруденение, а транссольвусные рибекитовые лейкограниты Казандинского массива сопровождалась тетрадным эффектом фракционирования РЗЭ W-типа и генерировали жильное и грейзеновое вольфрам-молибденовое и бериллиевое оруденение.

Ключевые слова: анорогенные гранитоиды, гиперсольвусные, транссольвусные, мантийно-коровое взаимодействие, тетрадный эффект фракционирования РЗЭ, W, Mo, Be, U, Zr, TR

GYPERSOLVUS AND TRANSSOLVUS ANOROGENIC GRANITOIDS OF SOLONESHENSKII ORE DISTRICT OF MOUNTAIN ALTAI

Gusev A.I., Gusev N.I.

The Shukshin Altai State Academy of Education, Biisk, e-mail: anzerg@mail.ru

Data on two subtypes anorogenic granitoids of Soloneshenskii ore district of Altai lead in paper, generating of its passed in complex conditions of mantle-crust interaction. Different sources of melting of mantle and crust substrate for gypersolvus and transsolvus granites arrange. Gypersolvus riebeckite leucogranite of Elinovskii massive formed with participation in tetrad effect of fractionation of REE M-type and generated albitites and skarn uranium-rare metals-rare earth element ore mineralization, but transsolvus riebeckite leucogranites of Kazandinskii massive accompanied of tetrad effect fractionation of REE W-type and generated lode and greisen tungsten-molibdenium and beryllium ore mineralization.

Keywords: anorogenic granitoids, gypersolvus and transsolvus granites, mantle-crust interaction, tetrad effect fractionation of REE, W, Mo, Be, U, Zr, REE

Рибекитовые граниты и лейкограниты распространены в регионе широко и с ними в пространственной и парагенетической связи обнаруживаются различные типы жильного, скарнового, альбититового и грейзенового оруденения Ta, Nb, U, W, Be, Sc, Zr, редких земель. В Солонешенском рудном районе и в пограничной части с Талицко-Башчелакским локализованы несколько анорогенных интрузивов, 2 из которых являются рудоносными. Формирование рибекитовых гранитоидов этих массивов по данным абсолютного датирования происходило в узком временном интервале 267-272 млн лет. Цель исследования сопоставить петрологические и геохимические признаки указанных типов гранитоидов, относящихся к анорогенному типу [1, 2].

Петро-геохимические особенности массивов

Оба массива слагают сходные породные типы: граниты, лейкограниты, умеренно-щелочные лейкограниты, лейкогранит-порфиры. В обоих массивах присутствуют рибекитовые разновидности пород. Химические составы пород массивов сведены в табл. 1.

Анализ табл. 1 показывает, что отношения многих элементов в породах сравнивае-

мых массивов действительно обнаруживают не заряд-радиус-контролируемое («non-CHARAC» в англо-язычной литературе) поведение химических элементов. Вероятно, различные типы тетрадного эффекта фракционирования редкоземельных элементов (М-тип для Елиновских гранитоидов и W-тип для Казандинских) обязаны различными активностями, насыщенностями и обогащенностями летучими компонентами расплавов, такими как H₂O, CO₂, Li, B, F и/или Cl.

Так отношения K/Rb в породах обоих массивов весьма высокие (от 144,1 до 395,8) и намного превышают среднее значение для хондрита (63,8). Отношения K/Ba в гранитоидах Казандинского массива (42,6 – 53,7) намного меньше, чем в хондритах (236,1). Исключение составляет лейкогранит умеренно-щелочной, в котором это отношение немного превышает хондритовое значение. В Елиновском массиве, наоборот, почти все отношения K/Ba весьма высокие (534 – 2072) и намного превышают хондритовое значение (236,1) и лишь у одного рибекитового лейкогранита (206,6) это отношение чуть ниже хондритового. В целом же граниты Елиновского массива отличаются по отношению K/Ba от гранитоидов Казандинского массива.

Таблица 1

Представительные анализы породных типов Елиновского и Казандинского массивов
(оксиды в масс. %, элементы – в г/т)

Оксиды, химические элементы и отношения	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SiO ₂	71,25	75,4	76,1	76,0	77,5	72,29	74,71	75,17	74,02
TiO ₂	0,22	0,08	0,08	0,08	0,08	0,27	0,18	0,08	0,08
Al ₂ O ₃	14,50	12,4	12,3	12,9	11,5	13,99	13,01	12,57	12,67
Fe ₂ O ₃	2,35	1,49	1,15	0,91	1,59	0,94	0,66	0,64	0,58
FeO	1,25	0,94	0,79	0,63	<0,2	2,08	1,87	1,78	1,36
MnO	0,10	0,05	0,03	0,02	0,062	0,06	0,06	0,06	0,06
MgO	0,23	0,18	0,07	0,05	<0,1	0,40	0,29	0,15	0,13
CaO	0,15	0,43	0,47	0,43	0,28	1,49	1,27	0,73	0,76
Na ₂ O	5,45	4,34	4,36	4,26	3,9	3,67	3,67	3,72	3,9
K ₂ O	4,12	4,27	4,28	4,63	4,2	3,49	3,46	4,6	4,6
P ₂ O ₅	0,15	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,08	0,07	0,05	<0,05
Сумма	99,99	100	100	100	99,7	99,87	99,9	99,92	99,93
V	12,1	10,7	10,9	10,9	<2,5	12,2	11,6	1,9	8,5
Cr	35,5	20,3	21,5	34,6	26,8	21,4	19,0	8,8	11,4
Co	2,1	1,04	1,39	1,43	<0,5	3,3	2,9	1,9	1,9
Ni	2,2	2,05	2,99	1,83	<0,1	19,7	17,1	18,0	11,6
Cu	4,5	1,95	2,25	3,27	11,8	13,9	13,2	12,6	14,8
Zn	145	163	149	112	109	46,8	38,1	35,6	34,5
Rb	250	246	226	141	183	111,8	110,5	123,7	98,7
Sr	275	1,85	1,95	5,11	16,9	203,4	191,6	55,2	126,8
Nb	35,1	23,8	25,9	17,7	22,8	12,9	10,0	7,0	8,3
Cs	7,7	2,89	4,66	1,35	2,24	4,7	4,4	3,2	4,3
Ba	204	17,1	24,9	186	43	734	721,7	141,2	725,4
Pb	19,5	5,8	16,5	6,83	18,1	21,3	20,5	22,8	20,7
Th	15,1	14,0	27,5	15,6	17,5	12,2	8,7	11,3	11,2
La	41,5	29,3	40,5	39,7	20,1	51,8	45,7	34,0	41,4
Ce	90,2	72,3	88,9	71,3	50,4	56,8	51,3	41,1	55,3
Pr	12,1	7,83	11,9	10,5	4,99	7,3	5,3	5,1	5,5
Nd	46,8	26,6	45,1	38,4	20,5	29,6	19,6	17,3	16,7
Sm	12,4	4,48	12,1	9,25	5,62	5,4	4,8	2,8	4,4
Eu	0,87	0,11	0,44	0,7	0,27	1,12	1,05	0,69	0,97
Gd	11,9	2,77	12,1	9,1	5,81	4,0	3,4	2,2	2,8
Tb	2,15	0,38	2,12	1,49	1,23	0,66	0,41	0,27	0,43
Dy	15,1	2,54	14,6	9,72	10,8	1,22	1,38	1,58	1,27
Ho	3,21	0,63	3,08	2,14	2,22	0,5	0,7	0,9	0,6
Er	10,2	2,15	9,03	6,25	6,41	1,4	1,6	2,7	1,9
Tm	1,78	0,55	1,41	1,03	0,96	0,3	0,29	0,21	0,52
Yb	10,2	3,89	9,4	6,39	7,01	8,2	8,1	8,0	7,5
Lu	1,41	0,63	1,34	0,98	1,25	0,22	0,23	0,21	0,42
Y	90,5	12,2	83,2	62,0	53,6	46,7	45,2	58,0	65,6
Σ PЗЭ	350,32	166,36	335,2	268,9	191,1	215,2	189,1	175,1	205,3
Ga	31,5	22,6	21,6	20,1	20,3	17,4	18,3	20,7	19,6
Zr	554	248	464	359	262	48,4	45,5	42,7	46,9
Sc	2,5	<0,1	<0,1	<0,1	2,02	8,1	7,7	3,6	5,3
Hf	16,7	8,0	15,3	9,13	10,7	6,1	4,5	4,4	4,3
Ta	12,9	1,36	2,41	1,52	1,48	3,5	3,8	2,2	2,3
Mo	1,1	0,75	0,86	1,66	2,75	2,2	1,8	1,1	0,9

Окончание табл. 1

Sb	0,3	0,25	0,2	0,32	0,93	0,1	0,2	0,2	0,1
Sn	5,9	3,34	4,06	2,63	9,21	5,6	5,45	4,7	4,5
Be	4,5	3,67	4,73	3,79	4,45	2,1	1,95	0,7	1,74
W	1,3	0,73	0,89	0,6	0,61	1,5	1,9	2,1	2,5
U	6,3	4,54	6,27	3,83	6,5	2,1	1,9	2,0	2,1
Li	171,0	114,0	169,0	10,9	13,7	55,3	37,6	8,7	21,7
Ag	0,05	0,018	0,045	0,025	0,039	0,1	0,07	0,09	0,1
(La/Yb) _N	2,7	4,97	2,84	4,1	1,89	4,17	3,73	2,8	3,65
Nb/Ta	2,7	17,5	10,7	11,64	15,4	3,68	3,03	3,18	3,61
Eu/Eu*	0,07	0,03	0,036	0,076	0,010	0,71	0,76	0,82	0,79
Th/U	2,4	3,08	4,38	4,07	2,69	5,8	4,6	5,6	5,3
TE ₁	1,08	1,21	1,08	0,99	1,12	0,73	0,78	0,84	0,89
TE _{1,3}	1,01	1,02	1,04	0,97	1,11	0,71	0,65	0,67	0,77
(La/Sm) _N	2,05	3,9	2,06	2,9	2,19	5,89	5,84	7,44	5,76
(Gd/Yb) _N	1,1	0,57	1,03	1,14	0,66	0,39	0,34	0,22	0,30
K/Rb	198,6	144,1	157,1	395,8	176,6	282,1	240,3	281,8	386,8
K/Ba	534	2072	1426	207	810	42,9	42,6	252	53,7
Zr/Hf	33,2	31,0	30,3	39,3	24,5	7,9	10,1	9,7	10,9
La/Nb	1,2	1,23	1,56	2,24	0,88	4,01	4,57	4,85	4,98
La/Ta	3,2	21,5	16,8	26,1	13,6	14,8	12,0	15,4	18,0
Y/Ho	28,1	19,4	27,0	28,9	24,1	93,4	64,5	64,4	109,3
Sr/Eu	31,6	16,8	4,43	7,3	62,6	181,6	182,5	80,0	130,7
La/Lu	67,5	46,6	30,2	40,5	16,1	235,4	198,7	161,9	98,5

Примечание. Силикатный анализ выполнен в лаборатории ВСЕГЕИ. Определения редких элементов выполнены эмиссионной спектрометрией индуктивно-связанной плазмой на спектрометре «ОПТИМА-4300», для Cu, Zn, Pb, Li, – методом ISP-AES (аналитик Э.Г. Червякова), остальные элементы, в том числе РЗЭ – методом ISP-MS в той же лаборатории (аналитики В.А. Шишлов, В.Л. Кудряшов). Σ РЗЭ – сумма редкоземельных элементов. Значения РЗЭ нормированы по хондриту по Anders E., Grevesse N. (1989) [5]. Eu* = (Sm_N + Gd_N)/2. TE₁ – тетрадный эффект фракционирования РЗЭ первой тетрады по Irber [6]; TE_{1,3} – тетрадный эффект фракционирования РЗЭ, как среднее между первой и третьей тетрадами. Породы Елиновского массива: 1 – гранит-порфир умеренно-щелочной, 2 – 4 – лейкограниты рибекитовые умеренно-щелочные, 5 – лейкогранит-порфир умеренно-щелочной; породы Казандинского массива: 6 – гранит, 7 – лейкогранит, 8 – лейкогранит умеренно-щелочной, 9 – лейкогранит рибекитовый.

Zr и Hf имеют близкое геохимическое поведение и их отношение (Zr/Hf) в большинстве земных и внеземных пород являются почти постоянными, составляя около 38±2; в хондритах оно составляет 36,0. Однако, Zr/Hf отношения редуцированы для гранитоидов Казандинского массива, варьируя от 7,9 до 10,9

и близки к хондритовому значению в Елиновских гранитоидах (24,5 – 39,3). На диаграмме соотношений Zr/Hf – TE₁ отчетливо видно, что с увеличением тетрадного эффекта М-типа и уменьшением W-типа происходит уменьшение отношений Zr/Hf в разные стороны от хондритовых значений (рис. 1).

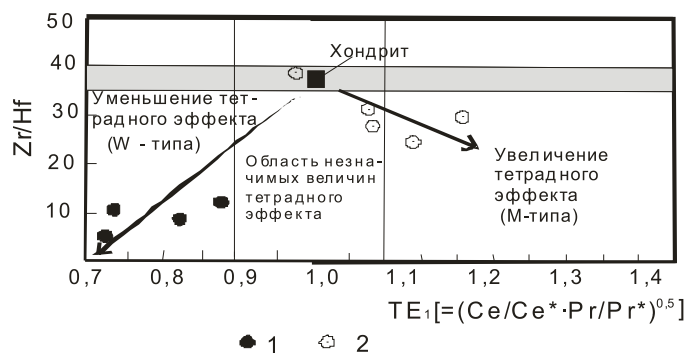


Рис. 1. Диаграмма Zr/Hf – TE₁ для гранитоидов Елиновского и Казандинского массивов TE₁ по [6]. Серая область отвечает только отношениям элементов (Zr и Hf), но не TE₁. Хондритовые значения приняты по [5]. Гранитоиды массивов: 1 – Казандинского, 2 – Елиновского

На диаграмме $Y/No - TE_1$ фигуративные точки составов пород занимают различные позиции относительно друг друга, а также

составов хондритов и области варьирования составов магматических пород (рис. 2).

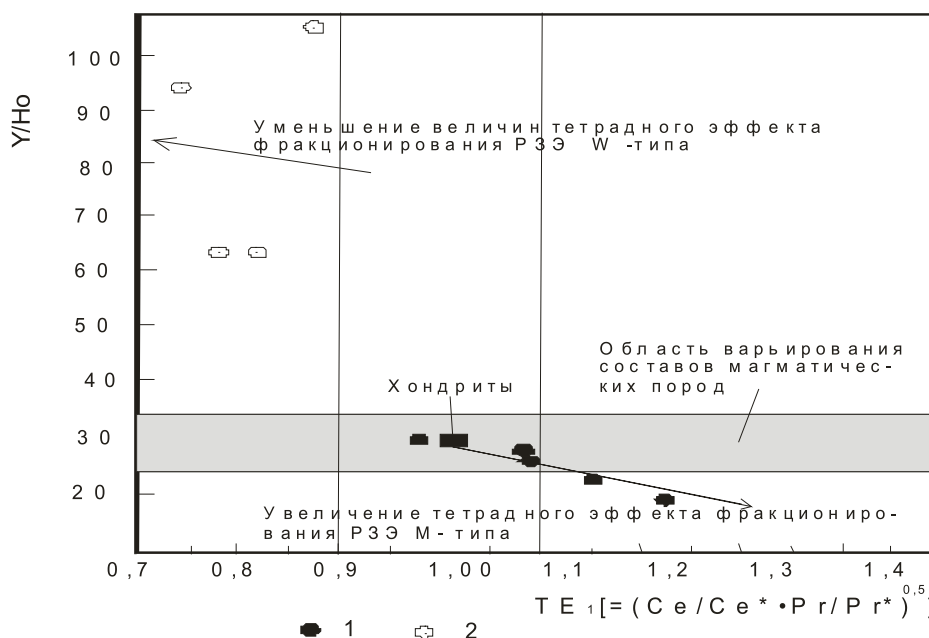


Рис. 2. Диаграмма $Y/No - TE_1$ для пород Казандинского и Елиновского массивов TE_1 по [6].
Хондритовые значения приняты по [5].
Гранитоиды массивов: 1 – Елиновского, 2 – Казандинского

Если составы пород Елиновского массива близки к области варьирования составов магматических пород, то для пород Казандинского массива наблюдается сильное изменение соотношений редких земель первой триады РЗЭ, а также Y и No .

На диаграмме $Eu/Eu^* - TE_1$ соотношения европия и тетрадного эффекта фракционирования первой тетрады также дают различные тренды для сравниваемых массивов. На диаграмме чётко видно, что увеличение величины тетрадного эффекта М-типа первой тетрады в Елиновском массиве коррелируется с уменьшением величины Eu/Eu^* . Обратная картина наблюдается для пород Казандинского массива. В нём уменьшение величины тетрадного эффекта W-типа сопровождается слабым увеличением величины Eu/Eu^* . Европиевая негативная аномалия ($c \geq 95\%$ Eu деплетированием на рис. 3) для Елиновского массива не может быть объяснена традиционной сепарацией полевых шпатов в расплаве, хотя известна констатация позитивной аномалии Eu в коэффициенте распределения модели РЗЭ в расплавах. Установлено в последнее

время, что первопричиной проявления тетрадного эффекта фракционирования РЗЭ в высоко эволюционированных гранитоидных магмах вызвано взаимодействием магма-флюид, которое создаёт не только деплетирование Eu в породах, но и также вызывает необычную негативную аномалию во всех конституционных минералах, включая и калиевый полевой шпат [8].

Сравнение величин отношений Eu/Eu^* для обоих массивов показывает, что чем выше указанное отношение, тем выше кислотность среды, согласно рядам кислотности-щёлочности А.А. Маракушева [4] для ряда элементов Sm , Gd , Eu в водно-сероводородных растворах при стандартных условиях. Следовательно, при становлении Казандинского массива и формирования грейзенового оруденения W и Be кислотность среды была выше, чем при формировании Елиновского массива с более щелочной средой, с которым связаны альбититы с оруденением U , Zr , Nb . Сравнительные данные по комплексу признаков анализируемых массивов сведены в табл. 2.

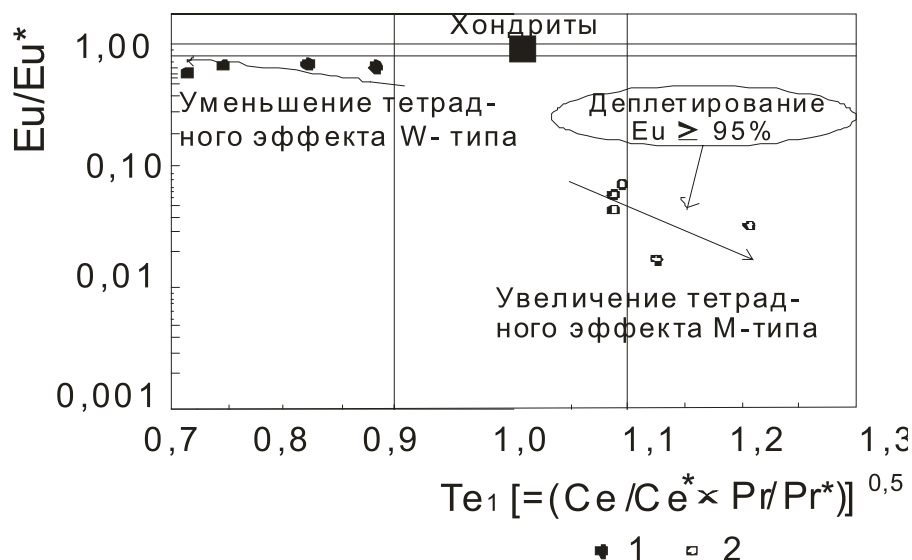


Рис. 3. Диаграмма $Eu/Eu^* - TE_1$ для пород Казандинского и Елиновского массивов (Условные обозначения те же, что на рис. 2.)

Сопоставление гранитоидов Елиновского и Казандинского массивов по данным [1, 2, 7]

Параметры	Елиновский массив	Казандинский массив
Кварц	33	30
Микроклин-пертит	52	38
Альбит	1	28
Рибекит	6	2,7
Эгирин	1	0,9
Магнетит	0,3	1,2
Гематит	0,2	1,0
Циркон	1,2	0,8
Флюорит	0,4	-
Монацит	0,5	0,2
Тип гранитов	A_2 , Пералюминиевый. гиперсольвусный	A_2 , Пералюминиевый. трансольвусный
Сумма РЗЭ, г/т	166-269	175-215
Тип тетрадного эффекта фракционирования РЗЭ	М-тип	W-тип
Возраст (млн. лет)	369-372 $\pm$ 5-7	367 $\pm$ 4
$^{87}Sr/^{86}Sr$	0,70513 – 0,70429	0,7076
$\epsilon(Nd)_t$	+3,1	+0,7
$\epsilon(Sr)_t$	+30,2	+35,5
Возраст протолита	900	1100
Рудная минерализация	Ta, Nb, Zr, U, TR	Be, W, Mo

Примечание. Минералы в объёмных %.

Анализ табл. 2 показывает, что анорогенные гранитоиды Елиновского массива относятся к гиперсольвусному подтипу и характеризуются преобладанием в своём составе микроклин-пертита, несколько более поздним возрастом и ювенильным (мантийным) соотношением изотопов стронция. В них проявлен М-тип тетрадного эффекта распределения РЗЭ. Анорогенные гранитоиды Казандинского массива относятся к промежуточному подтипу между субсольвусными и гиперсольвусными гранитами – трансольвусному. Это несколько более ранние граниты с более древним протолитом и соотношением изотопов стронция, указывающим на контаминацию корового материала. В минеральном составе этих гранитов меньшие количества рибекита и значительные содержания альбита. В гранитоидах Казандинского массива проявлен W-тип тетрадного эффекта фракционирования РЗЭ, предполагающего участие высоководных контаминированных коровых источников с высокими содержаниями летучих компонентов.

Обсуждение результатов и выводы. Два подтипа анорогенных гранитоидов, выделенных в Солонешенском районе, характеризуется разной степенью мантийно-корового взаимодействия и различными источниками плавления корового субстрата. Сопоставление данных по анализируемым массивам с экспериментальными данными по моделированию источников плавления показали, что граниты Казандинского массива тяготеют к расплавам, образовавшимся за счёт плавления амфиболитов, а все остальные породы – за счёт плавления метаграувак [3]. Аналогичные сопоставления с экспериментальными моделями плавления коровых источников для Елиновского массива дали однозначные показатели плавления за счёт граувакк [3].

Ультракислые породы обоих массивов располагаются на максимуме степени изестково-щелочного фракционирования ортоклаза и альбита. Экспериментально установлено, что этой ситуации могут отвечать: уменьшение щёлочности в процессе взаимодействия вода-породы или небольшая степень ассимиляции пелитов, которые и будут легко увеличивать показатели

фракционирования ортоклаза и альбита, что и имеет место для конечных дифференциатов и Казандинского, и Елиновского массивов.

Таким образом, анорогенные рибекитовые гранитоиды в Солонешенском рудном районе следует подразделять на два подтипа: 1 – Елиновский, гиперсольвусный, связанный исключительно с плавлением мантийного источника типа экологитов и гранатовых амфиболитов и 2 – Казандинского, трансольвусного, связанного со смешением мантийного и корового материала. Для подтипов характерны не только различные соотношения изотопов стронция и неодима, но и различная металлогеническая нагрузка: для Елиновского ареала – это уран-редкометалльно-редкоземельная апогранитная и скарновая, а для Казандинского – вольфрам-молибденовое и бериллиевое оруденение грейзенового и жильного геолого-промышленных типов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гусев А.И. Петрология и рудоносность анорогенных щелочных гранитоидов Казандинского массива Горного Алтая // Совр. наукоёмкие технол., 2013 – № 1. – С.88-93.
2. Гусев А.И., Гусев Н.И. Петрология и рудоносность анорогенных щелочных гранитоидов Елиновского массива Горного Алтая // Совр. наукоёмкие технол., 2013 – № 2. – С. 55-60.
3. Гусев А.И., Гусев Н.И., Табакаева Е.М., Дзгоева Е.А., Кукоева М.А. Петрология и рудоносность магмо-рудно-метасоматических систем Солонешенского рудного района Алтая. – Бийск: АГАО, 2013. – 200 с.
4. Маракушев А.А. Термодинамические факторы образования рудной зональности скрытого оруденения на основе зональности гидротермальных месторождений. – М. – Наука. – 1976. – С. 36-51.
5. Anders E., Greevesse N. Abundances of the elements: meteoric and solar // Geochim. Cosmochim. Acta. 1989, v.53, pp. 197-214.
6. Irber W. The lanthanide tetrad effect and its correlation with K/Rb, Eu/Eu*, Sr/Eu, Y/Ho, and Zr/Hf of evolving peraluminous granite suites // Geochim Cosmochim Acta. 1999. – V. 63. – № 3/4. – P. 489-508.
7. Kruk N.N., Rudnev S.N., Vystavnoi S.A., Palevskiy S.V. Sr–Nd isotopic systematic of granitoids and evolution of continental crust of the Western part of Altai-Sajan fold region / Continental Growth in the Phanerozoic: Evidence from Central Asia. – Novosibirsk, 2001. – P. 68-72.
8. Zhao Z.H. REE and O-Pb-Sr-Nd isotopic compositions and petrogenesis of the Altai granitoids // New Development of Solid Earth Science in Northern Xinjiang. Science Publishing Co. – Beijing, 1993. – Pp. 239-266.

УДК 552.11: 552:551:550.42

ЗОЛОТО-МЕДНО-СКАРНОВОЕ ОРУДЕНЕНИЕ УЛЬМЕНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ГОРНОГО АЛТАЯ

Гусев А.И.

*Алтайская государственная академия образования им. В.М. Шукшина, Бийск,
e-mail: anzerg@mail.ru*

Ульменское золото-медно-скарновое месторождение пространственно и парагенетически связано с шонситовыми гранитоидами. Оно относится к интрузивно-связанному восстановленному типу. Руды сложены магнезиальными и известковыми скарнами. Золото тесно ассоциирует с тетрадимитом, мелонитом, алтаитом. Пробность его варьирует от 920 до 988 ‰. Рудный этап характеризовался высокой фугитивностью серы и низкой – кислорода. В рудном поле присутствуют жильные золото-сульфидно-кварцевые и медно-золото-порфировые проявления. Оруденение сопровождается зональной аномальной структурой геохимического поля.

Ключевые слова: магнезиальные и известковые скарны, гранат, пироксены, волластонит, золото, тетрадимит, мелонит, алтаит

GOLD-COPPER-SKARN ORE MINERALIZATION OF ULMENSKOE DEPOSIT OF MOUNTAIN ALTAI

Gusev A.I.

The Shukshin Altai State Academy of Education, Biisk, e-mail: anzerg@mail.ru

Ulmenskoe gold-copper-skarn deposit related narrow in space and paragenetic with shoshonitic granitoids. Deposit carry to intrusive-related reduced type. Ores composed magnesian and calcareous skarns. Native gold associated narrow with tetradymite, melonite, altaite. Fineness of gold vary from 920 to 98 ‰. Ore stage characterized by high fugacity of sulfur and low – oxygen. Gold-sulfide-quartz and cooper-gold-porphyre manifestations presented in ore district Ulmenskoe. Ore mineralization accompany by zone anomaly structure of geochemical field.

Keywords: magnesian and calcareous skarns, garnet, pyroxene, wollastonite, gold, tetradymite, melonite, altaite

Скарновое оруденение в Горном Алтае весьма разнообразно. Оно формирует многочисленные месторождения и перспективные проявления железа, меди, золота, вольфрама, молибдена, олова, бериллия [1-4]. Большая часть скарновых месторождений региона сформировалась в девонское время. Ульменское месторождение относится к редким для Горного Алтая объектам кембрийского возраста. Оно входит в состав комплексного Ульменского рудного поля. Цель исследования – осветить состав и перспективы Ульменского золото-медно-скарнового месторождения с учётом новых данных, полученных в последнее время.

Результаты исследования. Ульменское медно-золоторудно-россыпное рудное поле приурочено к полосе разломов СЗ ориентировки в контакте гранитоидов Турочакского массива. Структура рудного поля сложная, относится к комбинированному типу, где сочетаются: Ульменская синклиналь СВ ориентировки и сближенные разломы СЗ направления. Система широтных латентных дизъюнктивов наиболее древнего заложения залечена Ульменским интрузивным массивом, локализованным в северо-западном крыле одноименной синклинали. В его составе преобладают габброиды, монциты, сиенодиориты, реже пироксениты и дайки сиенитов и гранодиоритов. Рудовмещающие металлотекты: терригенно-кар-

бонатные и вулканогенно-терригенные разрезы сийской и усть-семинской свит. Монциты, сиениты, и гранодиориты обнаруживают сходство с породами шонситовой серии и характеризуются самыми высокими значениями восстановленности флюидов, фугитивности воды, парциальных давлений воды и углекислоты, что весьма благоприятно для формирования метасоматитов и оруденения [5].

Оруденение в рудном поле представлено золото-медно-скарновым типом, преимущественно приуроченным к контактам Ульменской интрузии. Наиболее изученным является Центральный участок, который расположен на правом склоне долины р. Ульмень в 200-300 м ниже устья р. Карагач. Участок приурочен к контакту габбрового массива и мраморов сийской свиты. Падение контактов габбрового массива и его апофиз варьирует от 50 до 70° на северо-запад. Массив пересечен жиллообразными телами сиенитов. На контактах интрузивных тел с мраморами образовались скарны различного состава: по габбро и пироксенитам – гранатовые, пироксен-гранатовые, везувиановые, по сиенитам – гранат-плагиоклазовые, а по мраморам – пироксен-гранатовые и волластонитовые. Ульменское рудное поле локализует различные типы оруденения, однако, превалирует в нём золото-медно-скарновый. Различа-

ются магнезиальные и известковые скарны. Первые встречены на Западном и Центральном участках рудного поля.

На Центральном участке магнезиальные скарны образуют линзу в контакте габброидов и доломитов мощностью до 1,3 м и протяжённостью до 12 м, вскрытые штольней, и сложенные форстеритом, магнетитом в ассоциации с людвигитом, серпентином, флогопитом, везувианом. Несколько меньшими параметрами характеризуются магнезиальные скарны на Западном участке (линза размером 0,5×3,5 м). По составу и температурам кристаллизации магнезиальные скарны относятся к форстерит-шпинелевой фации. В мезоабиссальной фации магнезиальные скарны образуются при давлениях 1-3 кбар и температурах 800-900°C [Жариков, Аксюк, Зарайский, 1986].

Форстерит отмечается в виде изометричных выделений размерами 0,5-1 мм тесно ассоциирует с магнетитом и шпинелью. Изредка форстерит замещается серпентином и магнезиальным хлоритом, близким по оптическим характеристикам к амезиту. Химический состав форстерита Центрального участка (мас.%): SiO_2 – 42,26, FeO^* – 4,68, MnO – 0,12, MgO – 52,35. Расплавные включения в форстерите содержат такие летучие, как хлор и углекислоту, при явном преобладании первого. По данным А.Ф. Коробейникова минералы магнезиальных скарнов, в отличие от минералов известковых скарнов Алтае-Саянской складчатой области, несут повышенные содержания Mg и Cl в растворах включений с отношениями $\text{Na}:\text{K}=1,2:1-2:1$, $\text{Cl}:\text{F}=33:1-50:1$, $\text{Cl}:-\text{HCO}_3:-\text{SO}_4=1:1,4:0-7:10:1$ (Коробейников, 1983). В катионной части резко преобладает магний над кальцием и калием. Кристаллизация форстерита при высоких температурах происходит только при очень малых активностях кальция, или при низком парциальном давлении углекислоты [Жариков, Аксюк, Зарайский, 1986]. Судя по концентрациям анионов в составе газовой-жидких включений, давление углекислоты было высоким. Следовательно, кристаллизация форстерита определялась более высокой активностью магния, чем кальция в растворах. Гомогенизация газовой-жидких включений в форстерите Ульменского месторождения варьирует от 840 до 860°C. По экспериментальным данным поле устойчивости форстерита в магнезиальных скарнах отвечает давлению не ниже 5 кбар.

Магнетит кристаллизовался позже форстерита в виде идиоморфных кристаллов размерами 0,3-0,8 мм, нередко имеющих зональное строение. В краевой зоне крупных кристаллов при больших увеличениях

(300-500) наблюдаются структуры распада твёрдых растворов с ламеллями ильменита и шпинели. Температуры декрепитации магнетита без включений ильменита и шпинели составляют 825-840°C. Эти данные указывают на формирование магнетита ранней генерации в магматический этап. Химический состав магнетита 1 генерации Центрального участка (мас.%): SiO_2 – 0,20, TiO_2 – 0,27, Al_2O_3 – 0,36, FeO^* – 90,47, MnO – 0,65, MgO – 1,65, B_2O_3 – 0,35. Людвигит встречается в форстерит-магнетитовых скарнах в виде тонких прожилков мощностью 1-2 мм, а также в виде гнёзд размером 0,5×0,8 см. Местами отмечается редкая тонкая вкрапленность людвигита в контакте доломитов и флогопит-магнетитовых скарнов, а также в самих доломитах. Флогопит наблюдается в виде гнёзд и линзочек среди форстерита и магнетита. Он образует идиоиморфные выделения и коррозионные границы с форстеритом. Вероятно, его образование связано с гистерогенным процессом преобразования первичных магнетит-форстеритовых скарнов раннего этапа. Химический состав флогопита (мас.%): SiO_2 – 36,72, TiO_2 – 0,40, Al_2O_3 – 15,53, FeO^* – 9,07, MgO – 24,10, K_2O – 9,14, H_2O^+ – 3,98, F – 0,86, B_2O_3 – 0,54. Везувиан отмечен в ассоциации с хлоритом. Он образует хорошо огранённые пирамидальные кристаллы размером от 0,5 до 1,5 см на контакте флогопит-магнетитовых скарнов и доломитов.

Известковые скарны весьма разнообразны по составу: пироксеновые, гранатовые, гранат-пироксеновые, везувиановые, волластонитовые. Мощности скарнов колеблются от нескольких метров до нескольких десятков метров, протяжённости – от 200 до 960 м. На скарны наложены в виде жил, прожилков и линз разнообразные сочетания ассоциаций актинолита, тремолита, эпидота, альбита, магнетита, кварца 1 генерации, связанные с гистерогенными скарновыми изменениями. На Центральном, Южном, Восточном и других участках отмечено сопутствующее оруденение бора в ассоциации датолита, аксинита, редко данбурита. Золотое и медное оруденение формировалось в гидротермальный этап, в котором различимы продукты 2 стадий минерализации, образующих прожилки мощностью от 1 до 5 см. Наиболее богатое оруденение проявлено в местах внедрения даек сиенитов и интенсивных метасоматических постскарновых изменений. В таких участках содержание золота достигает 59,6 г/т, серебра 103 г/т, меди 10,4%, висмута 0,08%. Средние содержания золота в рудных телах 6,6 г/т, серебра 31 г/т, меди 4,2%, висмута

0,018%. Золото также содержится и в сульфидах. Концентрации элементов-примесей в халькопиритах разных генераций приведены в табл. 1. Халькопирит ранней генерации содержит более высокие концентрации цинка, кобальта, висмута, теллура и несколько повышенные концентрации золота. Халькопирит второй генерации имеет большие кон-

центрации свинца, серебра, марганца, стронция, бора. Более высокие концентрации бора во второй генерации указывают на то, что флюиды завершающего этапа сульфидного и золотого отложения содержали в значительных количествах комплексы бора. Содержания золота в халькопирите 1 генерации несколько выше, чем во второй.

Таблица 1

Сравнение содержаний элементов-примесей в халькопиритах Центрального участка
Ульменского рудного поля

Элементы	Халькопирит 1, n=16		Халькопирит 2, n=14	
	<i>X</i>	<i>s</i>	<i>X</i>	<i>s</i>
Свинец	7,0	10,1	12,06	20,72
Цинк	133,3	70,8	45,07	10,23
Серебро	3,04	3,68	9,68	16,61
Олово	0,15	0,07	0,14	0,021
Кобальт	18,4	32,18	5,38	1,39
Никель	1,54	1,45	1,04	0,39
Ванадий	1,03	0,92	1,34	0,57
Марганец	32,3	19,82	78,84	58,74
Стронций	3,93	1,48	7,31	3,75
Галлий	0,37	0,12	0,41	0,12
Иттрий	2,27	0,44	1,65	0,23
Иттербий	0,23	0,04	0,17	0,023
Молибден	0,09	0,09	0,10	0,023
Вольфрам	1,14	0,53	0,84	0,16
Висмут	23,63	35,63	2,23	1,55
Германий	0,12	0,03	0,14	0,021
Бор	1,49	0,54	42,77	36,95
Кадмий	0,57	0,17	0,18	0,042
Золото	4,07	7,96	3,54	6,28
Теллур	5,81	3,43	0,18	0,042

Примечания: *n* – количество проб; *X* – средние содержания; *s* – стандартные отклонения; золото – в г/т остальные элементы – в $n \cdot 10^{-3}\%$.

Более ранние и наиболее продуктивные прожилки сложены кварцем 2 генерации, халькопиритом 1 (смесь тетрагональной – 80% и кубической – 20% модификаций), борнитом, халькозином, редко пирротинном, арсенопиритом, золотом 1. Последнее тесно ассоциирует с висмутином, тетрадимитом, мелонитом, алтаитом. Золото образует плёночки, комковатые, губчатые, крючковатые формы, изредка – правильные октаэдрические кристаллики. Размеры выделений свободного золота от 0,2 до 5 мм. Пробность золота по 3 пробам составляет 920, 970, 988%. Поздние прожилки сложены кварцем 3, халькопиритом 2 (полностью упорядоченная тетрагональная модификация), сфалеритом, редко – галенитом, золотом 2. Формы выделений второй гене-

рации золота плёночные и дендритовые. Пробы золотин дают более низкие значения (880-915‰).

Величины соотношений изотопов серы сульфидов показывают незначительные отклонения от метеоритного стандарта (от +3,2 до +1,2‰) в сторону более тяжёлого изотопа. В направлении от скарнового этапа к гидротермальному на фоне снижения температур кристаллизации заметно менялись параметры флюидного режима. Уменьшение фугитивности кислорода и повышение летучести серы в этом направлении сопровождалось изменением солёности флюидных включений в минералах. Она менялась от весьма высокой, свойственной рассолам (более 45 мас.% в эквиваленте NaCl), в минералах скарнов, до низкой в минералах

метасоматических скарновых изменений (4,1-5,2%) и весьма низкой в продуктивной минерализации (0,3-3,3%). Такой тренд изменения солёности указывает на участие ювенильных флюидов магматогенного генезиса на первом этапе и смешение ювенильного высококонцентрированного рассола и холодного разбавленного раствора на заключительных этапах. В составе летучих во флюидных включениях помимо

CO_2 , SO_2 , HF , HCl существенную роль играл бор.

Генетические особенности скарнового и гидротермального этапов месторождения прослеживаются на диаграмме, где отчетливо наблюдается высокая фугитивность серы и низкая – кислорода для Ульменского месторождения по сравнению с другими скарновыми объектами Алтая и Горной Шории (рис. 1).

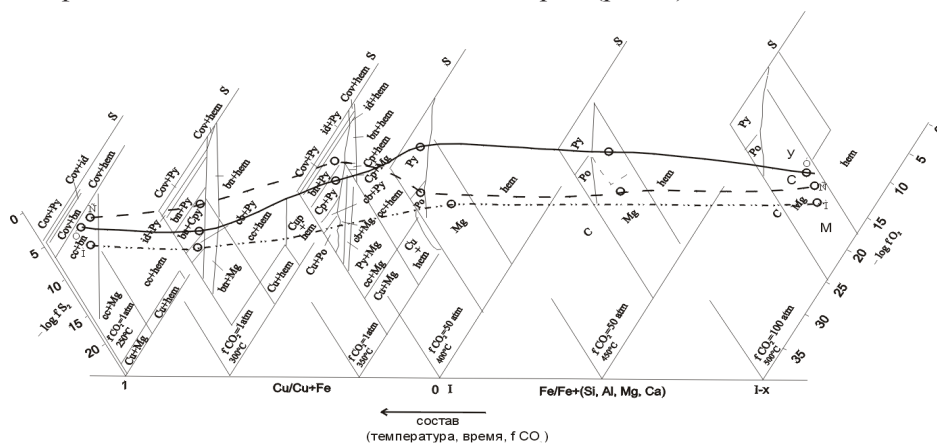


Рис. 1. Диаграмма $f\text{S}_2$ - $f\text{O}_2$ систем Fe-S-O и Cu-Fe-S по [6, 7] для золото-медно-скарновых и скарново-железорудных месторождений Горного Алтая и Горной Шории (составлена автором с использованием данных вышеперечисленных исследователей)

Тренды эволюции фугитивностей серы и кислорода на месторождениях: У – Ульменском, М – Майском, С – Синюхиском. Диаграмма составлена с использованием данных по парагенетическим ассоциациям минералов,

температурам гомогенизации газовой-жидких включений в минералах скарновых месторождений региона. Сечения равновесных парагенезисов минералов при определённых температурах приняты по вышеуказанным авторам.

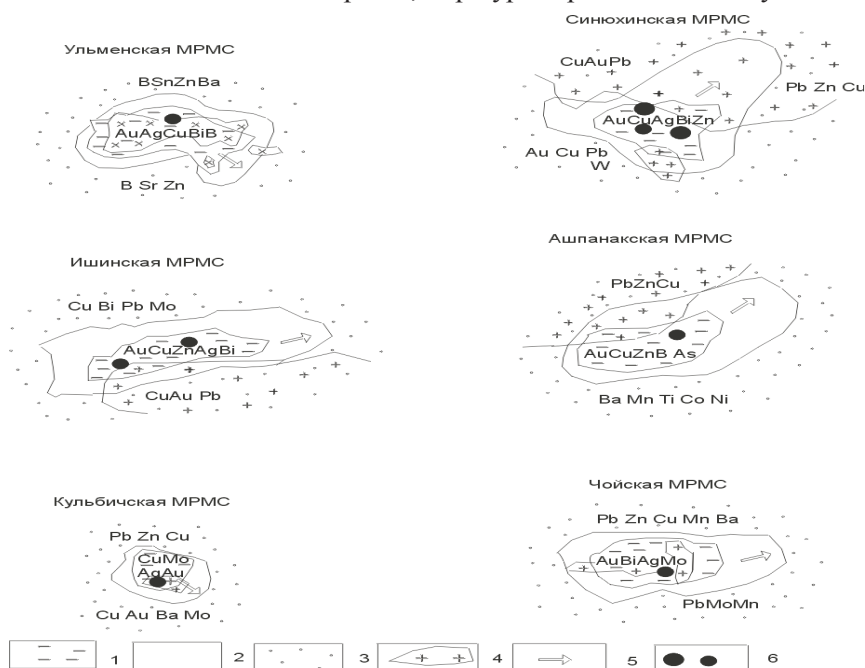


Рис. 2. Аномальные структуры геохимических полей некоторых золотоносных МPMC: 1 – зона ядерного концентрирования химических элементов ранга рудного поля; 2 – зона транзита (выноса элементов); 3 – зона фронтального концентрирования элементов; 4 – рудогенерирующий интрузивный массив; 5 – склонение АСГП; 6 – месторождения и проявления золота

Рудные тела сопровождаются около-рудными фельдшпатолитами, эйситами, березитами, пропилитами. По первичным ореолам выявлена зональная аномальная структура геохимического поля с юго-восточным склонением. В ядерной зоне концентрирования максимальные содержания фиксируются для Au, Ag, Cu, Bi, В, а во фронтальной зоне – В, Sr, Zn (рис. 2).

В Ульменском рудном поле выявлено также жильное золото-сульфидно-кварцевое оруденение по ручью Медвежонок. В 500 м от слияния правого и левого истоков ручья в правом борту обнаружены развалы кварца размерами от 5 до 10 см. Различимы 2 генерации кварца. Кварц 1 генерации гетерогранобластовый, среднезернистый, образует основной остов жильного образования и содержит вкрапленность пирита размером 0,5-1,5 мм. Ассоциирует с хлоритом и альбитом в контакте с вмещающими породами. Характерно, что кварц 1 генерации содержит многочисленные флюидные включения, измеряемые несколькими десятками микронов. Кварц 2 генерации более мелкокристаллический, со стебельчатыми формами выделений содержит мелкую вкрапленность сульфидов размером от 0,1 до 0,3 мм с крупными газозо-жидкими включениями, содержащими не идентифицируемые твёрдые фазы сульфидов, что свидетельствует о его рудной природе. Содержания золота в кварце с сульфидами варьируют от 1,5 до 10,5 г/т.

Следует указать, что кроме жильного оруденения золота в рудном поле известно медно-золото-порфировое оруденение. Так, в правом борту р. Ульмень в 1100 м выше устья р. Макарьевки локализовано проявление, приуроченное к небольшому телу габброидов, пересечённому девонскими дайками гранит-порфиров. Габброиды раздроблены, окварцованы, эпидотизированы. Содержат мелкую интенсивную вкрапленность халькопирита, ассоциирующего с кварцем и кальцитом. Масштабы проявления минерализации не выяснены. Содержания меди – от следов до 1%, концентрации золота до 3 г/т.

Обсуждение результатов. Золото-медно-скарновое оруденение Ульменского месторождения связано с гранитоидами шошонитовой серии, и в отличие от Синюхинского месторождения, включает и магнезиальные,

и известковые скарны, что благоприятно для формирования масштабного оруденения. Месторождение относится к интрузивно-связанному восстановленному типу. Кроме скарнового оруденения в рудном поле распространено жильное золото-сульфидно-кварцевое и медно-золото-порфировое оруденение, что также повышает его перспективы. Физико-химические параметры рудного этапа характеризовались высокой фугитивностью серы и низкой – кислорода, указывающие на восстановительную обстановку рудообразования. Последняя более благоприятна для формирования крупных месторождений золота [4].

Заключение. Золото-медно-скарновое оруденение Ульменского месторождения распространено на значительной площади и сопровождается другими геолого-промышленными типами – жильным золото-сульфидно-кварцевым и медно-золото-порфировым. Рудное поле по первичным ореолам оконтуривается аномальной структурой геохимического поля, а по его склонению, наименее эродированными будут восточные участки рудного поля. Месторождение требует доизучения. За счёт эндогенного оруденения сформированы значительные россыпи по р. Ульмень и её притокам, часть из которых в настоящее время разрабатывается.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гусев А.И. Металлогения золота Горного Алтая и Горной Шории. – Gamburg: Palmarium Academic Publishing, 2012. – 370 с.
2. Гусев А.И. Типы зональности оруденения Синюхинского золоторудного поля (Горный Алтай) // Успехи современного естествознания, 2012. – № 3. – С. 35-39.
3. Гусев А.И. Типизация вольфрамового оруденения Республики Алтай // Современные наукоемкие технологии, 2012. – № 3. – С. 12-16.
4. Гусев А.И. Восстановленная интрузивно-связанная Чойская магмо-рудно-метасоматическая W-Au-Te система Горного Алтая // Современные наукоемкие технологии, 2012. – № 3. С. 23-27.
5. Гусев А.И. Постколлизийные гранитоиды: петрология, геохимия, флюидный режим и оруденение. – Gamburg: Palmarium Academic Publishing, 2012. – 217 с.
6. Barton P.B., Skinner B.J. Sulfide mineral stabilities // Geochemistry of hydrothermal ore deposits. – New York. – 1979. – P.278-403.
7. Holland H.D. Some applications of thermochemical data to problems of ore deposits. I. Stability relations between the oxides, sulfides, and carbonates of ore and gangue minerals // Economic Geology. – 1959. – V. 54. – P. 184-233.

УДК 549.322.21

КРИСТАЛЛОХИМИЧЕСКОЕ ПРЕВРАЩЕНИЕ ПИРРОТИН-ПИРИТ, ИНДУЦИРОВАННОЕ КАТИОННЫМИ ВАКАНСИЯМИ**Онуфриенко В.В.***Сибирский Федеральный университет, Красноярск, e-mail: VOnufriynok@yandex.ru*

Методами РФА, ЯГР и рентгеноспектрального анализа (XRS) исследовалось превращение пирит – пирротин как на синтетических, так и на природных сульфидах железа различного химического состава. Показано, что если плотность катионных вакансий в структуре пирротина превышает критическое значение, то реализуется кристаллохимическое превращение пирротин-пирит. Полученные результаты исследований доказывают, что высокая плотность вакансий в структуре пирротина необходима для формирования «гантелей» из ионов серы при формировании структуры пирита. На основе результатов микрозондового анализа минерального состава (EPMA) рассчитаны плотности катионных и анионных вакансий в структуре природного пирита золоторудного месторождения «Панимба». Отмечается деление на два химических типа минерала – обогащенного и бедного серой. Установлено, что золота больше в такой породе, в которой пирит содержит в структуре дефицит «гантелей» серы.

Ключевые слова: пирротин, вакансии, золото, пирит, атомы примеси, кристаллическая структура

CRISTAL-CHEMICAL TRANSFORMATION OF PYRRHOTITE-PYRITE INDUCED BY CATIONIC VACANCIES**Onufrienok V.V.***Siberian Federal University, Krasnoyarsk, e-mail: VOnufriynok@yandex.ru*

By the methods of XRD, Mössbauer and X-ray analysis (XRS) the transformation of pyrite – pyrrhotite both synthetic and natural iron sulfides at different chemical composition was studied. It is shown, that if the density cationic vacancies exceeds a critical value into structure the pyrrhotite is realized pyrrhotite-pyrite of crystal-chemical transformation. Results of the research show, that a high density cationic vacancies in structure of pyrrhotite necessary for the formation of a «dumbbell» sulfur ions for the formation of the structure pyrite. On the basis of micro-probe analysis of the mineral composition (EPMA) calculate the density of cationic and anionic vacancies in the structure of natural pyrite «Panimba» deposit gold ore. It is noted division on two chemical types of mineral – of enriched and depleted sulfur. Is established, that in a rock gold more, which contains shortage «dumbbells» sulfur in structure pyrite.

Keywords: pyrrhotite, vacancies, gold, pyrite, impurity atoms, the crystal structure

В золоторудных месторождениях часто встречаются пирротин и пирит – природные минералы сульфидов железа состава Fe_{1-n}S и FeS_2 соответственно. Природные сульфиды железа – пирротин и пирит, часто образуются при гидротермальных процессах и подвергается активному преобразованию в экзогенных условиях [10]. Отмечается в литературе часто встречаемые залежи пирита на дне водоемов в виде донных отложений. Генезис и история формирования этих минералов имеет немаловажное значение для понимания процессов формирования золоторудных месторождений и положений золотоносных пластов в породе.

Одной из отличительных особенностей является то, что в структуре пирита атомы серы находятся в связанном в пары состоянии, образуя двухвалентную «гантель» $(\text{S}_2)^{2-}$, тогда как в структуре пирротина сера представлена одиночными двухвалентными ионами [10]. Поэтому анионная вакансия в структуре пирита означает отсутствие не одного иона серы, а гантели из двух связанных ионов серы. Появление катионных или анионных вакансий деформируют кристаллическую структуру иногда до такой

степени, что его элементарная ячейка уже может не быть кубической. При уточнение сингонии кристаллической структуры такого пирита обнаруживается триклинная симметрия элементарной ячейки [3].

Спектры ЯГР пирита с идеальной структурой представляют собой две хорошо разрешенные линии одинаковой интенсивности – дублет, но на практике ширина и интенсивность этих линий в спектрах ЯГР природного пирита не только может изменяться, но в ряде случаев в спектре пирита появляется третья линия [9]. Все это, в итоге, свидетельствует о деформации кристаллической структуры, а, следовательно, наличие в структуре пирита катионных и анионных вакантных позиций. Влияние плотности вакантных позиций на структуру и свойства пирита практически не исследованы, хотя вакантные позиции в структуре пирротина достаточно детально описаны, например, в работах Онуфриенка [2].

До настоящего времени нет ясности в механизме формирования пирита, который не может существовать выше 398°C [2, 3, 10]. Существует точка зрения, что пирит – это минерал, способный сформироваться

роваться при определенных условиях непосредственно из железа и серы. В ряде других работ отмечается, что низкотемпературный синтез приводит в итоге к образованию анитропного пирита [3], а это означает, что при формировании пирита неизбежно в структуре возникают катионные или анионные вакантные позиции. Их влияние на фазовый состав и физико-химические свойства практически не исследовано. Отмечается, что пирит более симметричной структуры формируется при более высоких температурах [2, 3, 10], однако и в этом случае не исключена возможность возникновения вакантных позиций в структуре пирита. Анализ многолетнего авторского экспериментального материала ставят под сомнение факт образования пирита в результате непосредственного соединения серы и железа, минуя промежуточные стадии формирования определенной цепочки минеральных преобразований. Этот факт подтвержден рядом экспериментальных работ [5,8], в которых детально описан процесс трансформации различного рода минералов, в результате которых образуется пирит. Действительно, при формировании структуры пирита ионы серы должны первоначально сформироваться в гантели, а для этого необходимы какие-то процессы, вынуждающие ионы серы образовывать такую связь между собой. Например, пирит может образовываться из обогащенного серой пирротина с высокой плотностью катионных вакансий [2].

Цель исследования: на примере синтетических метастабильных сульфидов железа различного химического и фазового состава изучить процессы трансформации пирротина в пирит. Показать особенности трансформации сульфидов железа в фазовое состояние, когда сера в структуре связана в гантели S_2 . Определить равновесные фазовые соотношения в минеральной смеси, сформировавшейся из пирита и пирротина. На основе результатов ЕРМА минерального состава рассчитать плотности катионных и анионных вакансий в структуре природного пирита и сопоставить результаты с содержанием золота в руде.

Материал и методы исследования

Образцы синтезировались в результате сухого синтеза в вакууме при температуре 1000 °С в течение двух суток с последующей закалкой в жидкий азот или медленного охлаждения вместе с муфельной печью в течении 20 часов до комнатной (20 °С) температуры. Соотношение S/Fe в шихте изменялось от 1 до 2,5. Пирротины получались также в результате термического разложения природного монокристаллического пирита при температурах от 350 до 1200 °С. Измельченный пирит помещался в один конец длиной (~ 2 м) кварцевой трубки с откаченным воздухом, который и помещался в середину цилиндрической

печи длиной 0,75 м. Второй конец трубки находился при комнатной температуре. При прокаливании пирита пары серы конденсировались на стенках холодной части кварцевой трубки. Таким образом, в этих опытах исследовались экспериментально два процесса – синтез пирита и его разложение. Исследовался также природный пирит из участка Михайловский месторождения «Панимба» в Енисейском крае.

Полученные образцы анализировались методами рентгеноструктурного анализа и ядерного магнитного резонанса. РФА анализ синтезированных образцов производился на дифрактометре XRD-7000 \$ фирмы Shimadzu с использованием рентгеновского излучения $Cu(K\alpha)$. Фазовый состав образцов определялся по методу, предложенному Дубининым [4]. Спектры ядерного гамма-резонанса (ЯГР) снимали на спектрометре с равноускоренно движущимся источником Cg (^{57}Co). Химический состав природного пирита определен на рентгеноспектральном микроанализаторе «Camebax-Micro» (Франция, 1981 г.) в лаборатории микронного анализа института геологии и минералогии СО РАН, г. Новосибирск; содержание золота в пиритсодержащих интервалах пород определены в пробирной лаборатории Олимпиадинского ГОКа, официальный сайт «Полус Золото».

Результаты исследования и их обсуждение

В результате синтеза получались в основном многофазные образцы, в состав которых входили сульфиды железа пирротин, троилит, смайтит, пирит и, после многолетней выдержки (~30 лет), формировался сомоленокит, парабутлерит, розенит гетит. Гомогенные образцы пирита в результате синтеза и последующей выдержки образцов не удалось получить даже при соотношении S/Fe $\approx$ 2,5 в шихте.

На рис.1 представлены рентгеновские дифрактограммы синтезированных образцов с различным соотношением пирита, пирротина и кристаллической серы.

Как следует из анализа экспериментального материала, представленного на рис. 1 в виде только двух наиболее характерных рентгеновских дифрактограмм, с увеличением температуры синтеза и содержания серы в шихте процентное содержание пирита возрастает, а пирротина уменьшается. Отметим, что первоначально синтезируется пирротин даже если в шихте достаточно серы, а только потом возникает пирит. Образцы, не содержащие пирротин, а содержащие пирит даже в равновесии с другими синтетическими минералами не были получены при любом соотношении железа и серы. Содержание пирита более 76% в образцах получить не удалось, а пирротин всегда присутствовал во всех образцах, содержащих пирит. Поскольку пирит в принципе не может существовать при температурах, выше 500 °С, следовательно, он возникает в процессе охлаждения образцов из пирротина.

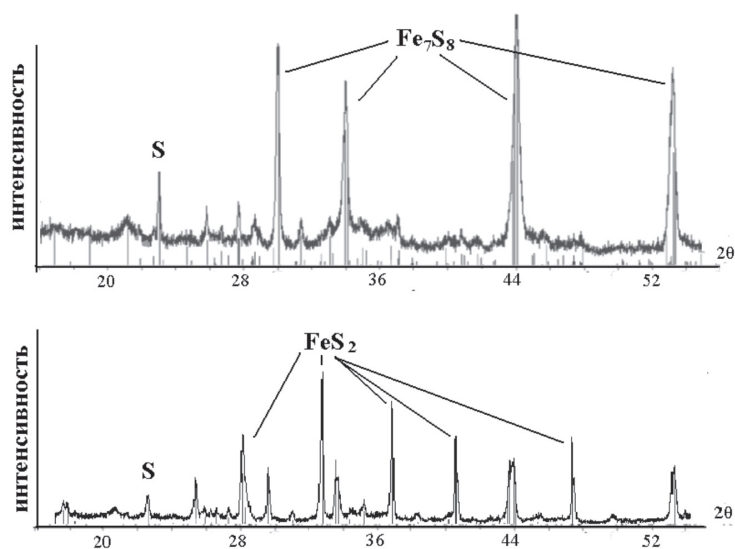


Рис. 1. Рентгеновские дифрактограммы синтетических сульфидов с различным содержанием пирита, пирротина и серы. Процентное содержание в образцах пирита: а – 11.18%, б – 64.1%; пирротина: а – 58.25%, б – 27.2%; кристаллической серы: а – 20.36%, б – 7,1%

Как следует из анализа экспериментального материала, представленного на рис. 1 в виде только двух наиболее характерных рентгеновских дифрактограмм, с увеличением температуры синтеза и содержания серы в шихте процентное содержание пирита возрастает, а пирротина уменьшается. Отметим, что первоначально синтезируется пирротин даже если в шихте достаточно серы, а только потом возникает пирит. Образцы, не содержащие пирротин, а содержащие пирит даже в равновесии с другими синтетическими минералами не были получены при любом соотношении железа и серы. Содержание пирита более 76% в образцах получить не удалось, а пирротин всегда присутствовал во всех образцах, содержащих пирит. Поскольку пирит в принципе не может существовать при температурах, выше 500 °С, следовательно, он возникает в процессе охлаждения образцов из пирротина.

Определенный интерес представляет анализ образцов, содержание пирита в которых превышает 76%, т.е. интервал 76-100%. Образцы с таким процентным соотношением пирита были получены только в результате термического разложения природного пирита в вакууме. Если поместить в ампулу природный монокристаллический пирит, то после ее прокаливании в течении различного интервала времени в муфельной печи при $t = 1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ получены образцы в интервале заданного фазового состава. Опыты по термическому разложению пирита показали многофазность полученных образцов, состоящих из пирит, пирротина различного состава и кристаллической серы. Отметим

также, что на рентгеновских снимках, полученных с различной скоростью съемки, чистое железо ($\alpha\text{-Fe}$) в образцах, полученных в результате термического разложения пирита, не фиксировалось. Если бы пирит мог формироваться непосредственно соединением серы с железом, минуя стадию пирротина, то и при разложении пирита существовала бы отличная от нуля вероятность обратного процесса – восстановления чистого железа и серы. Однако этого в экспериментах ни разу не наблюдалось.

На рис. 2 представлен спектр ЯГР образца, состоящего из ферримагнитного моноклинного пирротина и парамагнитного пирита.

Магнитное упорядочение в пирротине доказывает три секступлета в спектре, обусловленные различными магнитными полями на ядрах ионов железа в различных позициях. Эти позиции соответствуют положениям ионов железа без вакансий, с двумя вакансиями и четырьмя вакансиями во второй координационной сфере [2]. Расчетные значения полей –304 кЭ, 253 кЭ и 227 кЭ соответственно. Отметим, что значения напряженности магнитных полей на ядрах, а также значения химического сдвига, не подтверждают наличие в кристаллической структуре пирротина ионов трехвалентного железа. Центральный парамагнитный дублет в спектре ЯГР обусловлен наличием в образце парамагнитного пирита, в котором ионы железа также находятся в двухвалентном состоянии.

В таблице представлены результаты микронзондового анализа природного пирита рудника «Михайловский» золоторудного месторождения «Панимба».

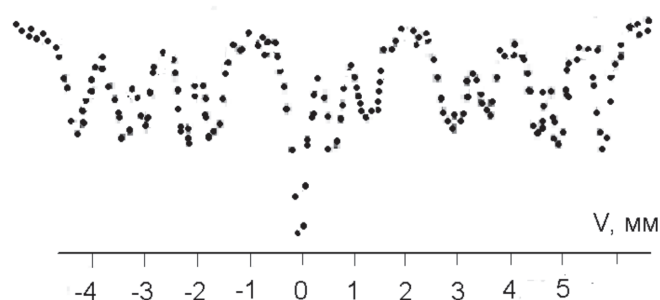


Рис. 2. Спектр ЯГР образца, состоящего из ферримагнитного моноклинного пирротина и парамагнитного пирита

Т а б л и ц а
Результаты микрозондового анализа (EPMA) и результаты расчетов плотности примесных атомов в пирите

S/Fe (эксп.)	S/Fe (расч)	Плотность вакансий	Fe ⁺² α	(S ₂) ⁻² β	Fe ⁺² мас. %	(S ₂) ⁻² мас. %	Au, г/т (в руде)
2,05	2,051	0,01703	0,9829	1,0085	45,79	53,95	0,3
1,93	1,930	-0,02370	1,0237	0,9881	47,57	52,73	0,3
2,01	2,012	0,00412	0,9958	1,0020	46,24	53,43	0,3
2,01	2,008	0,00283	0,9971	1,0014	46,13	53,20	0,3
1,99	1,987	-0,00432	1,0043	0,9978	46,19	52,70	0,3
2,00	1,997	-0,00099	1,0009	0,9995	46,44	53,25	0,3
2,00	1,995	-0,00157	1,0015	0,9992	46,14	52,86	1
1,98	1,981	-0,00608	1,0060	0,9969	46,47	52,88	1
2,07	2,065	0,02142	0,9785	1,0107	45,52	53,99	1
1,97	1,969	-0,01012	1,0101	0,9949	46,53	52,63	1
1,99	1,986	-0,00446	1,0044	0,9977	46,20	52,70	1
2,02	2,019	0,00637	0,9936	1,0031	45,98	53,31	1
1,98	1,979	-0,00699	1,0069	0,9965	46,63	52,99	1
1,95	1,951	-0,01627	1,0162	0,9918	47,36	53,08	0,9
1,95	1,953	-0,01579	1,0157	0,9921	47,30	53,05	0,9
2,01	2,005	0,00173	0,9982	1,0008	46,38	53,40	0,9
1,99	1,992	-0,00234	1,0023	0,9988	46,49	53,20	0,9
2,03	2,028	0,00954	0,9904	1,0047	45,83	53,39	0,9
1,99	1,990	-0,00325	1,0032	0,9983	46,44	53,07	0,9
2,03	2,029	0,00987	0,9901	1,0049	45,97	53,58	1
2,04	2,036	0,01216	0,9878	1,0060	45,88	53,66	1
2,01	2,014	0,00486	0,9951	1,0024	45,48	52,61	1
1,99	1,986	-0,00438	1,0043	0,9978	45,94	52,41	1
1,98	1,981	-0,00608	1,0060	0,9969	45,96	52,30	1
2,00	2,001	0,00035	0,9996	1,0001	46,92	53,91	0,1
1,98	1,976	-0,00785	1,0078	0,9960	47,06	53,41	0,1
1,98	1,982	-0,00579	1,0057	0,9971	46,45	52,88	0,1
1,98	1,982	-0,00588	1,0058	0,9970	47,15	53,67	0,1
1,95	1,947	-0,01794	1,0179	0,9910	47,21	52,78	0,1
1,95	1,952	-0,01611	1,0161	0,9919	47,34	53,07	0,1
1,95	1,954	-0,01524	1,0152	0,9923	47,35	53,15	0,1
1,97	1,968	-0,01065	1,0106	0,9946	47,16	53,30	0,1
1,95	1,951	-0,01642	1,0164	0,9917	47,13	52,81	0,1
2,04	2,040	0,01338	0,9866	1,0066	45,19	52,95	0,5

Как следует из анализа результатов микронзондового анализа природного пирита, его состав практически всегда является нестехиометрическим, поэтому состав природного пирит лучше представлять химической формулой $(\text{Fe}^{+2})_{\alpha}(\text{S}_2)^{-2}_{\beta}$. Таким образом, «гантель» из двух ионов серы удобнее представлять одной формульной единицей, поэтому и плотность анионных вакантных позиций – это не что иное, как плотность таких «гантелей».

Если α и β равны 1 (стехиометрический состав FeS_2), то, как показывает расчет, железа в образце должно составлять 46,5472 мас.%, а серы – 53,4528 мас.%. Отличие результатов микронзондового анализа образца от этих расчетных значений железа и серы указы-

вает на наличие катионных или анионных вакантных позиций в структуре пирита. Как следует из таблицы, даже если для образца выполняется соотношение $\text{S}/\text{Fe}=2,00$ в структуре пирита и в этом случае возможны вакантные позиции. Поскольку пирит исследовался из золоторудного месторождения, интерес представляет сопоставить плотность вакантных позиций с содержанием золота в руде.

На рис. 2 представлено содержание золота в руде в зависимости от плотности вакантных позиций в структуре пирита. Положительные значения X выражают значения плотности катионных вакантных позиций, а отрицательные значения – плотности анионных вакантных позиций.

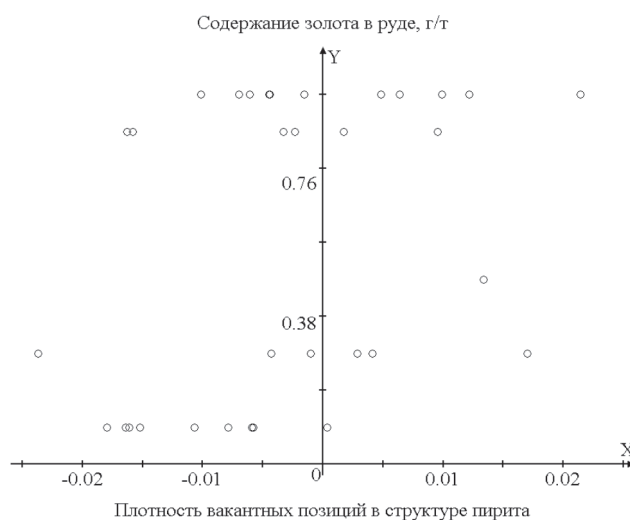


Рис. 3. Содержание золота в руде в зависимости от плотности вакантных позиций в структуре пирита

На основе анализа таблицы и рис. 3 можно отметить условное деление пирита на два химических типа минерала – обогащенного и обедненного серой. Из рис. 3 видно, что золота больше в такой породе, в которой пирит содержит в структуре вакантные анионные позиции, т.е. дефицит «гантелей» из ионов серы.

Дискуссия. Для аргументации того, что переход пирротина в пирит может быть индуцирован именно катионными вакансиями рассмотрим детально кристаллическое строение пирита и пирротина. Пирротин Fe_{1-n}S (n – число катионных вакансий в молекуле) относится к группе соединений сульфидов железа, обладающих кристаллической структурой типа NiAs. На рис. 1 слева представлена структура NiAs. Структура NiAs характеризуется гексагональной плотной упаковкой анионной подрешетки, в октаэдрических междоузлиях которой

расположены катионы, образующие простую гексагональную решетку. Эта структура обладает гексагональной голоэдрической симметрией (класс $6/m\bar{m}n$) и пространственной группой $R\bar{6}/m\bar{m}c$. Октаэдрические междоузлия, расположенные вдоль оси «с», имеют общие грани сверху и снизу, так, что катионы располагаются в виде линейной цепочки. В базисной плоскости октаэдры имеют общее ребро [10].

Характерной особенностью пирротина является его химическая и структурная неоднородность. В его базисной элементарной ячейке кристаллической структуры содержатся два катиона двухвалентного железа и два аниона серы, причем часть катионных позиций вакантна [2, 10]. Если влияние температуры, давления, концентрации катионных вакансий на фазовые переходы нестехиометрических сульфидов железа широко исследуются [7–9], то практически

нет работ по изучению влияния анионных вакансий (представляющих собой связан-

ные в гантель ионы серы) на процессы кристаллохимических фазовых переходов.

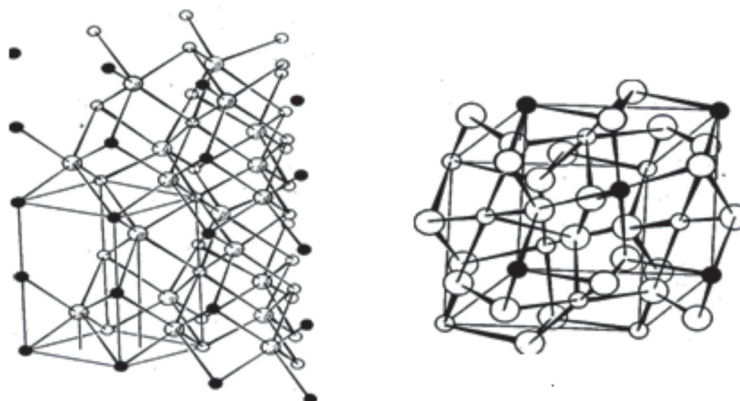


Рис. 4. Кристаллическая структура типа NiAs (а) и кристаллическая структура пирита (б)

В структуре пирита (рис. 1 справа) атомы железа образуют ГЦК – подрешетку, а атомы S располагаются парами таким образом, что центры тяжести этих пар занимают середины ребер элементарной ячейки и ее центр. Структуру пирита можно рассматривать как структуру типа NaCl, в которой атомы Na замещены атомами Fe, а атомы Cl – парами атомов S. Оси «гантелей» S₂ располагаются под углом к направлению (100) вдоль четырех тройных непересекающихся осей структуры. Параметр идеальной (не искаженной) элементарной ячейки пирита $a = 5,41 \text{ \AA}$. Таким образом, пирит обладает кубической структурой, в которой, в отличие от структуры пирротина, анионы сформированы в двухвалентные гантели, состоящие из двух атомов серы [5].

Общее для пирротина и пирита является наличие ионов железа в двухвалентном состоянии. До настоящего времени ряд исследователей пытается приписать наличие в структуре пирротина ионов железа в трехвалентном состоянии, забывая, что пирротин нестехиометрического состава является полупроводником, поэтому обладает собственной проводимостью, т.е. концентрация электронов в зоне проводимости отлична от нуля. Если на каком-то узле кристаллической структуры возникает необходимость в электроне, то его не надо отрывать из d-орбитали и делать ион железа трехвалентным – для этого достаточно захватить его из зоны проводимости, понизив концентрацию в ней электронов, а, следовательно, сместив проводимость в область p-типа, т.е. дырочной. В структуре моноклинного пирротина

достаточно высокая ($\sim 0,125$) плотность катионных вакансий. Если моноклинный пирротин перенасыщен серой и находится в метастабильном состоянии, то плотность вакансий может превышать максимально-допустимую для стабильного фазового состояния. В таком случае, вакансии могут иметь частичное разупорядочение, т.е. их симметричное расположение в структуре может быть нарушено до такой степени, что в структуре возможно образование нано-областей с повышенной плотностью катионных вакансий. Можно предположить, что ионы серы в зонах с повышенной концентрацией катионных вакансий образуют между собой ковалентную связь, образуя двухвалентную гантель из двух атомов серы. В этом случае два электрона присоединяют для связи уже не один ион серы, а сразу два. Таким образом, с образованием гантелей из ионов серы понижается необходимая плотность двухвалентных ионов железа. Пока концентрация гантелей из атомов серы достаточно мала, фазовый переход пирротин – пирит не происходит. Но когда их концентрация достигает некоторого критического значения – реализуется фазовый переход пирротин – пирит. Таким образом, в данном случае можно считать, что этот фазовый переход индуцирован катионными вакансиями, пирротин является необходимым звеном в минералогической цепи формирования двухвалентных гантелей из атомов серы, необходимых для образования пирита. В противном случае, свободная сера никогда не станет организовываться и образовывать «гантелей», необходимые для формирования кубической гранцен-

трированной структуры пирита, «гантели» из ионов серы в которой расположены на ребрах куба.

Выводы

Экспериментально исследован переход синтетического пирротина в структуру пирита. Предложена модель формирования пирита из пирротина, основанная на анализе плотности катионных вакансий в структуре пирротина. В рамках предложенной модели показано, что пирит не образуется без промежуточной минеральной фазы, необходимой для формирования двухвалентных «гантелей» из двух ионов серы.

На примере пирита месторождения «Панимба» доказано, что пирит практически всегда не обладает стехиометрическим составом, а, следовательно, имеет катионные и анионные вакантные позиции в структуре. Разработан алгоритм расчета плотности катионных и анионных вакантных позиций в кубических структурах типа пирита. На основе результатов микрозондового анализа минерального состава (ЕРМА – electron-probe micro-analysis) рассчитаны плотности катионных и анионных вакансий в структуре природного пирита золоторудного месторождения «Панимба». Предложено деление минерала на два химических типа – обогащенного и обедненного серой. Установлено, что содержание золота преобладает в такой породе, в которой пирит имеет дефицит «гантелей» из ионов серы в структуре.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Звезинцев А.Г., Онуфриенко В.В. Особенности магнитных свойств пирротинов, образовавшихся в результате разложения пирита // Геомagnetизм и аэрономия. – 1981. – Т.21. – № 4. – С.763-765.
2. Онуфриенко В.В., Звезинцев А.Г. Магнитные свойства и кристаллическая структура сульфидов железа в интервале составов FeS – FeS_{1.18} // Неорганические материалы. – 1982. – Т. 18, – №3. – С. 366-371.
3. Bayliss P. Crystal structure refinement of a weakly anisotropic pyrite.// American Mineralogist. – 1977. – V. 62, P. 1168-1172.
4. Dubinin P.S., Yakimov I.S., Piksina O.E., Yakimov Y.I., Zaloga A.N. RETRIEVE – a system for XRPD phase and structure analysis // Z. Kristallogr. Suppl. – 2009. – V. 30. – P. 209–211.
5. Fleet M.E. Structural aspects of the marcasite-pyrite transformation // The Canadian Mineralogist – 1970. – V. 10, P. 225-231.
6. Gait R.I., Dumka D. Morphology of pyrite from the Nanisivik mine, Baffin Island, Northwest Territories // The Canadian Mineralogist. – 1986. – V. 24, P. 685-688.
7. Larocque A.C.L., Hodgson C.J., Cabri L.J., Jackman J.A. Ion-microprobe analysis of pyrite, chalcopyrite and pyrrhotite from the Moberly VMS deposit in northwestern Quebec: evidence for metamorphic remobilization of gold // The Canadian Mineralogist. – 1995. – V. 33. – P. 373-388.
8. Lynch G. Metamorphism of arsenopyrite – pyrite – sphalerite – pyrrhotite lenses. Western Cape Breton Island. Nova Scotia // The Canadian Mineralogist – 1995. – V. 33, – P. 105-114
9. Manning P.G., Ash L.A. Mössbauer spectral studies of pyrite, ferric and high-spin ferrous distributions in sulfide-rich sediments from Moira Lake, Ontario // The Canadian Mineralogist. – 1979. – V. 17. – P. 111-115.
10. Rickard D., Luther G. Chemistry of Iron Sulfides // Chem. Rev. – 2007. – V.107. – P. 514-565.

Благодарности. Автор выражает благодарность заведующему кафедрой Геологии, минералогии и петрографии СФУ Сазонову зондового анализа пирита месторождения «Панимба».

УДК 541.64: 541.1

КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ И РАСТВОРЕНИЕ ПОЛИМЕРОВ В ВЯЗКОЙ СРЕДЕ

Асаубеков М.А.

*Казахский национальный технический университет имени К.И. Сатпаева, Алматы,
e-mail: asaubekov43@mail.ru*

Проведены изотермическая кристаллизация и растворение изотактического полипропилена (ПП) и полиэтилена высокой плотности (ПЭВП) в высоковязком растворителе – паре, последний значительно замедлил процессы кристаллизации и растворения. Поэтому удалось оптически и электронномикроскопически сфотографировать начальные стадии структурирования полимеров: фибрилл, дендритов, сферолитов и монокристаллов. Доказано, что структурным элементом роста этих надмолекулярных образований является ламель (пластина) толщиной 10 нм.

Ключевые слова: кристаллизация и травление полимеров вязким растворителем, ламели, фибриллы, дендриты, сферолиты, механизм структурообразования

THE CRYSTALLIZATION AND SOLVING POLYMERS IN WISCOUS MEDIA

Asaubekov M.A.

Kazakh national technical university after K.I.Satpayev, Almaty, e-mail: asaubekov43@mail.ru

Held isothermal crystallization and dissolution of isotactic polypropylene (PP) and high density polyethylene (HDPE) in a highly viscous solvent – Vapor, the latter is considerably slowed down the process of crystallization and dissolution. Therefore udaloos optical and electron microscopy to photograph the initial stages of structuring polymers fibrils, dendrites, spherulites and single crystals. Proved that the structural element of the growth of these supramolecular structures is the lamella (plate) with a thickness of 10 nm.

Keywords: crystallization and etching of polymers viscous solvent, lamellas, fibrils, dendrites, spherulites, the mechanism of structure formation

Кристаллизация полимеров протекает настолько быстро и никому еще не удалось сфотографировать начальную стадию роста структур, которые обнаружены еще полвека назад [1,2]. Поэтому целью настоящей работы явилось проведение процессов кристаллизации и травления кристаллизующихся полимеров в высоковязком растворителе – паре, который значительно замедляет процессы переноса вещества к растущему кристаллу. (Вязкость пара при 25°C $2,5 \times 10^4$ спз).

Объектами исследования были: изотактический полипропилен (ПП) с молекулярной массой (М) 200.000 и полиэтилен высокой плотности (ПЭВП) с М=200000, синтезированные методом ионно-координационной полимеризации [2].

Материал и методы исследования

Оптическая и электронная микроскопии с помощью поляризационного микроскопа МИН-8 (Россия) и электронного микроскопа JEM-7 (Япония).

В качестве растворителя для исследования структурообразования ПП и ПЭВП в вязких средах был избран высоковязкий пар, вязкость которого измеряли на ротационном вискозиметре «Rotavisko». Растворы полимеров в паре получали следующим образом: отдельно готовили 1% растворы полимера и пара в ксилоле. Для гомогенизации системы полимер-пар эти растворы смешивали при температуре намного выше температуры плавления чистого полимера, где ксилол испарялся. Изотермическую

кристаллизацию полимеров проводили на нагревательном столике микроскопе МИН-8 и на электронномикроскопической сетке с угольной подложкой. Для сравнения проводили кристаллизацию чистых ПП и ПЭВП из расплавов.

Результаты исследования и их обсуждение

Кристаллизация полимеров в вязком растворителе. Из очень разбавленных растворов ПП в паре (0,0015%) при изотермической кристаллизации в течении 1 мин при 100°C и быстром охлаждении в жидком азоте обнаружены фибриллы толщиной около 10 нм (рис. 1а), а при длительной кристаллизации в течении 6 часов при 100°C – фибриллы сначала агрегатировались в дендриты (рис. 1б), затем в крупные сферолиты с мальтийским крестом в поляризационном свете (рис. 1в). Для сравнения на рис. 1г представлена оптическая микроструктура сферолита ПП, выросшего из чистого расплава.

Результаты изотермической кристаллизации ПЭВП из раствора и 0,001% растворов в паре показаны на рисунке 2. Это дендриты – агрегаты из ламелей с высотой 10 нм (рисунок 2а,в). На рис. 2а показана начальная стадия структурирования ПЭВП до крупного дендрита (рис. 2в). Это означает, что структурным элементом дендрита является ламель – пластинчатое образование из складчатых макромолекул.

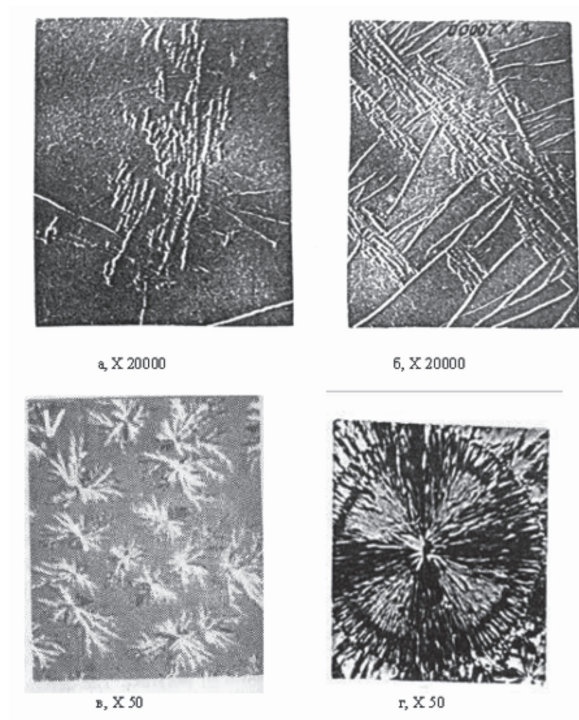


Рис. 1. Электронномикроскопические (а,б) и оптические (в,г) микрофотографии структурообразования изотактического полипропилена при кристаллизации из чистого расплава полимера (г) и из раствора полимера в паре на начальной (а), промежуточной (б) и конечной (в) стадии роста кристаллов при 100°C в течении 6 часов, концентрация полимера в паре при 0,0015 %

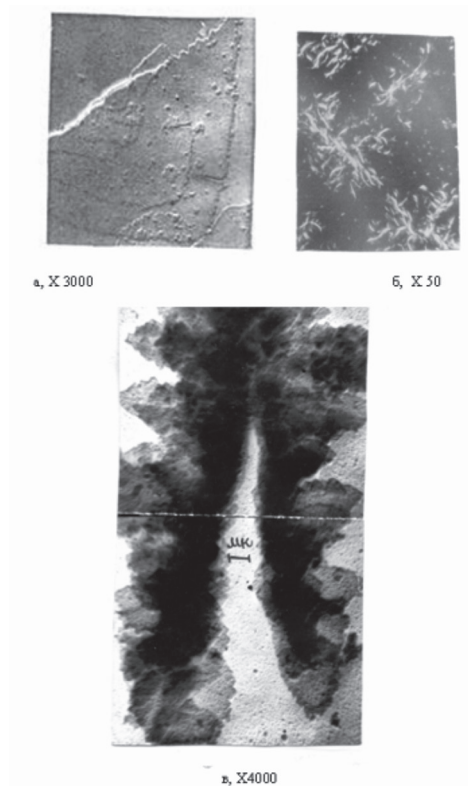


Рис. 2. Электронномикроскопические (а, в) и оптическая (б) микрофотографии дендритообразования полиэтилена высокой плотности в 0,001% растворе в паре при кристаллизации при 100°C в течение 6 часов: начальная (а) и конечные стадии роста кристаллов

Растворение кристаллических полимеров вязким растворителем. Для полного описания механизма формирования надмолекулярных структур кристаллических полимеров исследовали обратный процесс кристаллизации – растворение. Есть предположение о том, что при растворении процесс проходит через те же стадии, как

и при кристаллизации. Полимер расплавляли и продавливали в тонкий капилляр, куда и прокачивали в вакууме вязкий растворитель – пар. Капилляр с полимером и паром устанавливали на нагревательный столик микроскопа и проводили фотосъемку через определенное время растворения (или травления).

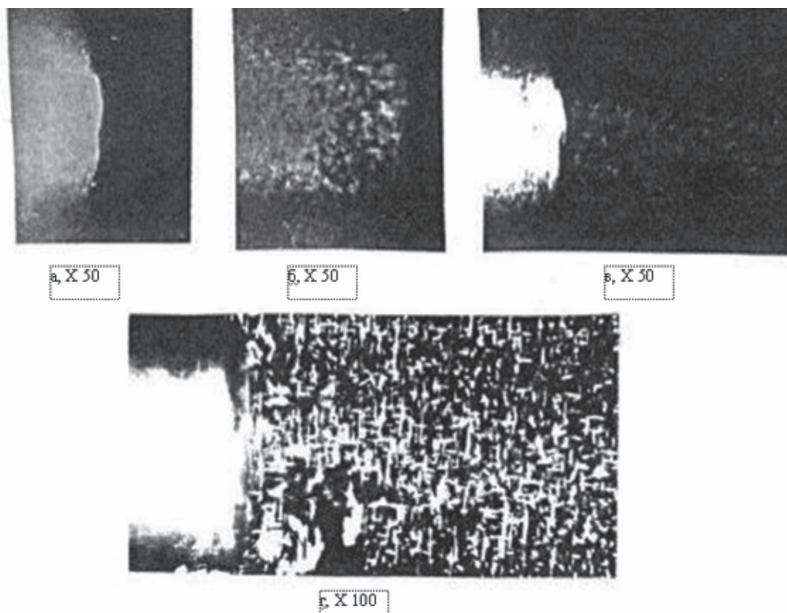


Рис. 3. Фотосъемка кинетики травления полиэтилен высокой плотности вязким растворителем – паром, до травления (а) и после травления (б, в) при 100°C в течении 6 часов и перекристаллизации (г)

На рис. 3 представлена оптическая микросъемка травления кристаллического ПЭВП паром в течение 6 ч при 100°C. (рис. 3а,б). На границе раздела фаз полипропилен – пар четко видно разрыхления мест контакта с вязким растворителем и растворения полимера. После охлаждения до 25°C растворения частицы ПЭВП снова перекристаллизуются ламель в сферолиты, кото-

рые двулучепреломляют в поляризованном свете с мальтийским крестом, характерным для сферолитов (рис. 3г). Электронно-микроскопическая наноструктура при 100°C растворенные, затем перекристаллизованных при комнатной температуре частиц ПЭВП показана выше на рис. 2д.

Была снята торцевая поверхность ПЭВП до и после травления.

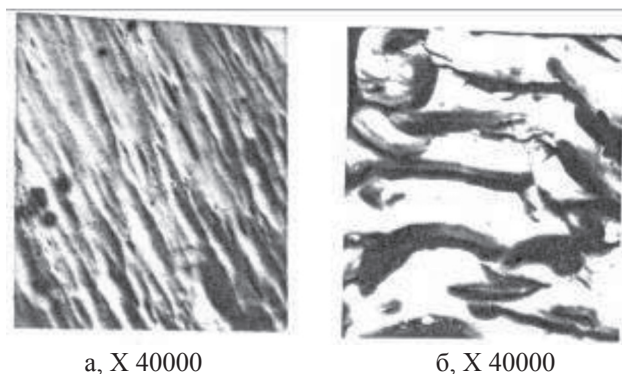


Рис. 4. Электронно-микроскопическая реплика торца кристаллического полиэтилена высокой плотности до травления (а) и после травления (б) высоковязким паром в течении 6 ч при 100°C, X 4000

После травления паром 6 часов при 100°C и охлаждении до 25°C. Блок полимера и перекристаллизованные частицы полиэтилена высокой плотности сильно двулучепреломляют. Торцевая часть кристаллического блока ПЭВП снята на электронном микроскопе до и после длительного контакта (6 часов) при 100°C с паром. Результаты показаны на рисунке 4. Как видно из этого рисунка поверхность кристаллического ПЭВП до контакта с вязкими растворителями бесструктурная: видны борозды следов ножа (рис. 4а), а затем после длительного выдерживания с паром четко проявлялась пластинчатая ламеллярная структура ориентированного полиэтилена высокой плотности (ведь его продавливали под давлением в капилляр). Высота пластины (ламели на рис. 4б) 100 нм, что соответствует складывания макромолекул с вытянутыми цепями. Из рис. 4б видно, что вязкий растворитель расщепляет пластины, проникает в межплоскостные пространства – аморфные прослойки, которые растворяются в первую очередь. Полученные результаты свидетельствуют в пользу концепции академика В.А. Каргина, рассматривающего процесс кристаллизации полимеров как последовательную сборку сложных надмолекулярных образований

из более мелких простых структурных элементов [1]. В данном случае структурным элементом роста фибрилл, дендритов, сферолитов и монокристаллов изостатического полипропилена и полиэтилена высокой плотности является ламель (пластина) толщиной 10 нм.

Заключение

Проведены изотермическая кристаллизация и растворение (травление) изотактического полипропилена и полиэтилена высокой плотности в высоковязком растворителе – паре, последний значительно замедлил процессы кристаллизации и растворения. Поэтому удалось оптически и электронномикроскопически сфотографировать начальные стадии структурирования полимеров: фибрилл, дендритов, сферолитов и монокристаллов. Доказано, что структурным элементом роста этих надмолекулярных образований является ламель (пластина) толщиной 10 нм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Каргин В.А. Краткие очерки по физико-химии полимеров. – М.: Химия, 1967. – 232 с.
2. Вундерлих Б. Физика макромолекул / Пер. с англ. – Т.2. – М.: Мир, 1979. – 574 с.

УДК 621.039.35:543.183.12

ОСОБЕННОСТИ КИНЕТИКИ СОРБЦИИ И МЕХАНИЗМА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ИОНОВ МАРГАНЦА МИКРОКАЛОРИМЕТРИЧЕСКИМ ИССЛЕДОВАНИЕМ В ФАЗЕ ФОСФОРНОКИСЛОГО КАТИОНИТА КФП-12

Пимнева Л.А.

ФГБОУ ВПО «Тюменский государственный архитектурно-строительный университет», Тюмень,
e-mail: l.pimneva@mail.ru

Исследованы механизм и кинетика селективной сорбции ионов марганца фосфорнокислым катионитом КФП-12. Показана зависимость сорбции ионов марганца от концентрации ионов в растворе. Микрокалориметрическим методом определены теплоты сорбции ионов марганца фосфорнокислым катионитом КФП-12. Изучена взаимосвязь теплового эффекта с временем сорбции, установлено наличие термопроцессов в системе после достижения сорбционного равновесия.

Ключевые слова: кинетика сорбции, механизм взаимодействия, функциональные группы катионита, ионитные комплексы, микрокалориметрия, теплоты сорбции

FEATURES OF KINETICS OF SORPTION AND THE MECHANISM OF INTERACTION OF IONS OF MANGANESE MICROCALORIMETRIC RESEARCH IN THE PHASE FOSFORNOKISLOGO KATIONITA KFP-12

Pimneva L.A.

FGBOU VPO «Tyumen State Architectural and Construction University», Tyumen,
e-mail: l.pimneva@mail.ru

The mechanism and kinetics of selective sorption of ions of manganese fosfornokisly kationity KFP-12 are investigated. Dependence of sorption of ions of manganese on concentration of ions in solution is shown. The microcalorimetric method determined warmth of sorption of ions of manganese fosfornokisly kationity KFP-12. The interrelation of thermal effect with sorption time is studied, existence of thermoprocesses in system after achievement of sorption balance is established.

Keywords: sorption kinetics, interaction mechanism, functional groups катионита, ionite complexes, microcalorimetry, warmth of sorption

Фосфорнокислый катионит КФП-12 относится к комплексообразующим, обладающий большим сродством к поливалентным и тяжелым ионам металлов. Наличие в структуре катионита фосфорнокислых ионогенных групп делает возможным сорбцию катионов металлов, как за счет реакции катионного обмена, так и за счет реализации координационной связи. Изучение сорбции ионов металлов катионитом вследствие комплексообразования позволит выявить специфические закономерности кинетики селективной сорбции, а также разработать научное обоснование критерий управления указанным процессом и практической реализации конкретных задач. В процессе сорбции ионов переходных металлов комплексообразующими ионитами в фазе последних образуются малодиссоциирующие соединения. Это приводит к изменению некоторых кинетических закономерностей, характерных для чистого ионного обмена.

В данной работе приводятся результаты исследования процесса сорбции ионов марганца фосфорнокислым катионитом КФП-12 с применением микрокалориметрического метода.

Материал и методы исследования

Исследования проводили с использованием фосфорнокислого катионита КФП-12 в H^+ -, NH_4^+ - формах с крупностью зерен в воздушно-сухом состоянии 0,25-0,50 мм. Термохимические опыты проводили с применением дифференциального микрокалориметра МИД-200. Калориметрический метод является информативным для определения природы и изучения закономерностей явлений, проходящих в гетерогенных системах. Методика проведения эксперимента состояла в следующем. В калориметрический стакан помещали 50 мл раствора фторида марганца. Концентрация соли менялась с целью получения различных степеней заполнения катионита ионами марганца. Проба воздушно-сухого катионита в H^+ - форме в количестве 0,2 г и заливали 2 мл воды, выдерживали 24 часа при комнатной температуре. Этим обеспечивалось набухание образца. Полиэтиленовый стаканчик с образцом помещали в калориметрический стакан, который устанавливали в измерительную ячейку микрокалориметра. Вторая ячейка калориметра заполнялась аналогично первой, но вместо раство-

ра соли брали воду. Измерительный блок калориметра термостатировался при 25 °С. После выхода показаний измерительных приборов на базовую линию катионит приводили в контакт с раствором вращением ядра калориметра. Результаты опыта автоматически регистрировались на компьютер. По окончании калориметрического опыта ионит отфильтровывали и раствор анализировали для определения степени обмена.

По данным калориметрических измерений определили долю тепловыделения η для различных периодов сорбции τ , которая пропорциональна степени сорбции ионов марганца F .

Результаты исследования и их обсуждение

На рис. 1 представлены экспериментальные термокинетические кривые процесса сорбции ионов марганца из водных растворов с различной исходной концентрацией. Из данных следует, что сорбция ионов марганца из растворов с концентрациями 0,002М и 0,005М катионитом в H^+ -форме является экзотермическим процессом, максимальная интенсивность тепловыделения

наблюдается в течение 2 ч 30 мин. (для концентрации 0,002М) после чего она резко падает, приближаясь к нулю. Для концентрации марганца 0,005М максимальная интенсивность тепловыделения наблюдается при $\tau = 1$ ч, после чего наблюдается медленный спад в течение 2 ч 30 мин., а начиная с 3 ч 40 мин. резкое падение тепловыделения. С увеличением концентрации ионов марганца в растворе сорбция ионов является эндотермическим процессом. При увеличении концентрации с 0,017М до 0,049М интенсивность тепловыделения увеличивается. Максимальная интенсивность тепловыделения наблюдается для всех исследованных концентраций в течение 45 мин., после чего она уменьшается. Если рассматривать сорбцию ионов марганца на катионите в аммонийной форме (рис. 2), то процесс является эндотермическим. При минимальной концентрации 0,002М интенсивность тепловыделения увеличивается в течение 3 ч., а затем не изменяется. С увеличением концентрации начиная с 0,009М раствора тепловыделение увеличивается в течение 30 мин, а затем резко уменьшается.

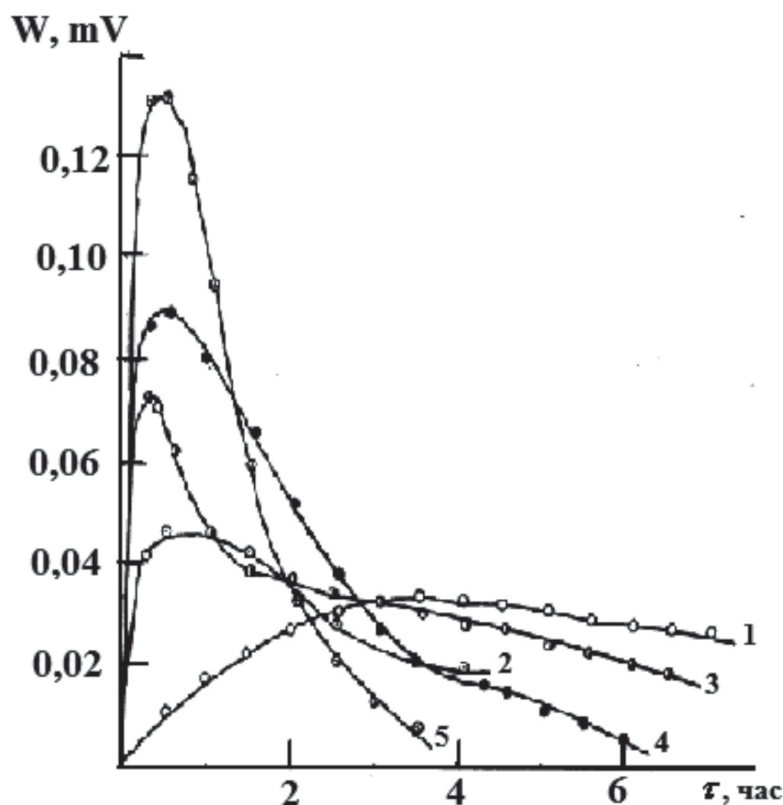


Рис. 1. Зависимость интенсивности тепловыделения от времени при сорбции ионов марганца катионитом КФП-12 в H^+ -форме.
Концентрация ионов марганца, моль/дм³: 0,002 (1), 0,005 (2)

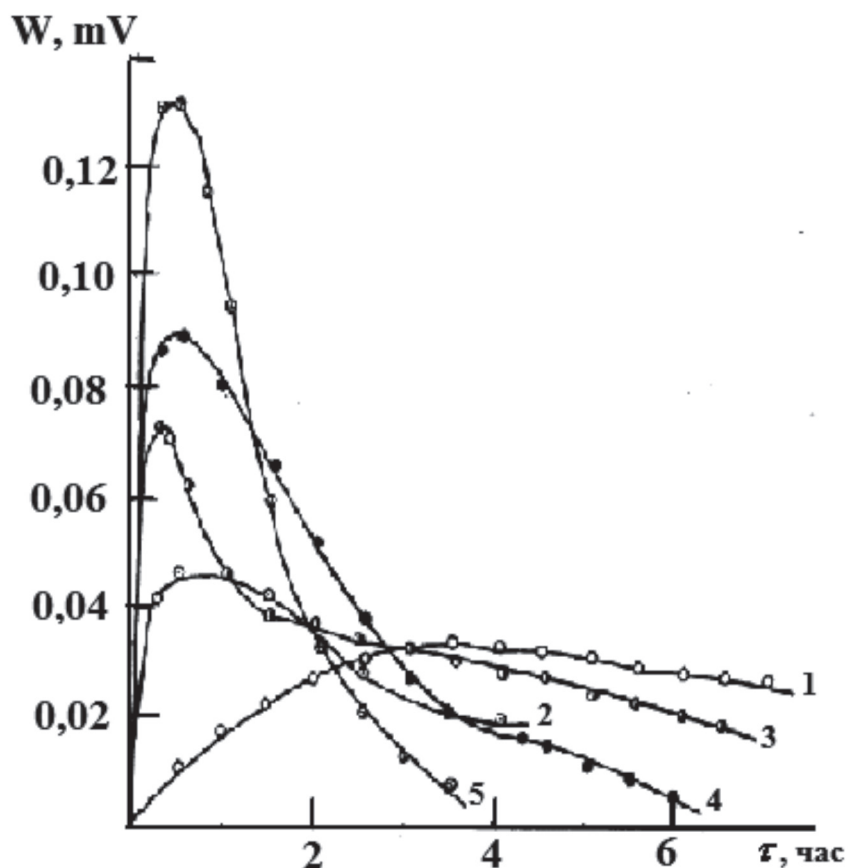


Рис. 2. Зависимость интенсивности тепловыделения от времени при сорбции ионов марганца катионитом КФП-12 в NH_4^+ – форме.
Концентрация ионов марганца, моль/дм³: 0,002 (1), 0,009 (2), 0,017 (3), 0,027 (4), 0,032 (5)

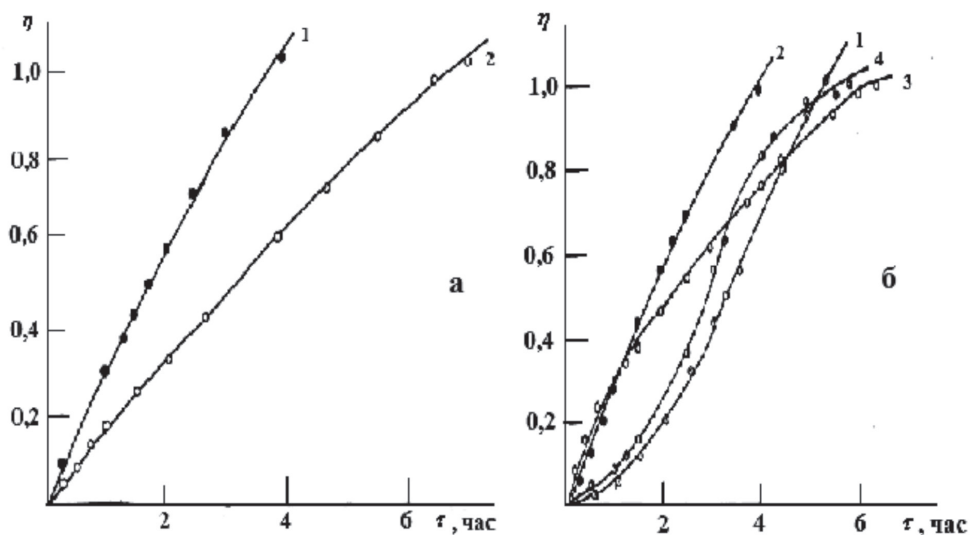


Рис. 3. Зависимость доли тепловыделения от времени ионов марганца катионитом КФП-12 в H^+ -(а) и NH_4^+ -(б) формах. Концентрация ионов марганца, моль/дм³: 0,002 (1), 0,008 (2), 0,017 (3), 0,027 (4), 0,032 (5)

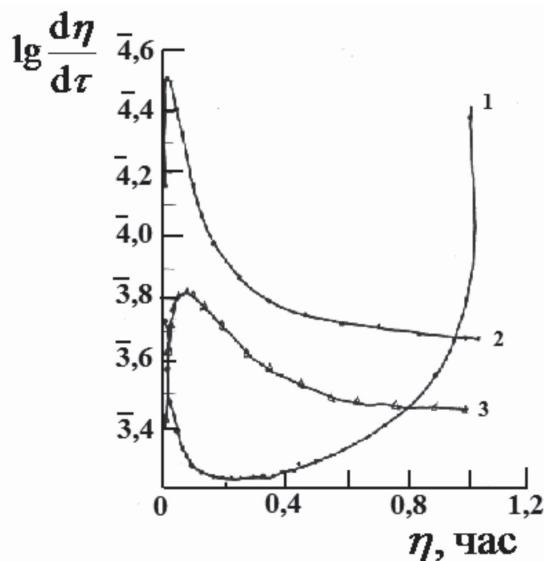


Рис. 4. Зависимость логарифма относительной скорости тепловыделения от его доли при сорбции ионов марганца катионитом КФП-12 в H^+ - форме. Концентрация ионов марганца, моль/дм³: 1,0 (1), 0,02 (2), 0,1 (3)

Доля тепловыделения (η) для исследованных ионов марганца приведены на рис. 3. С увеличением концентрации ионов металла в растворе изменяется и ход кривой зависимости доли тепловыделения от времени. Так, за 60 мин процесс сорбции на H^+ - форме катионита для ионов марганца с концентрацией 0,002 моль/дм³ протекает на 25 %, а для концентрации 0,049 моль/дм³ на 32 %. Полное превращение достигается за 240 и 335 мин. соответственно. Для аммонийной формы катионита процесс сорбции ионов протекает на 5 % (для $C=0,002M$) и на 8 % (для $C=0,049M$) за то же самое время. Полное превращение достигается за 440 и 245 мин. соответственно. Из графиков зависимости $lg(d\eta/dt) = f(\eta)$ следует, что для ионов марганца при малых концентрациях характер зависимости линейный (рис. 4). С увеличением же концентрации характер зависимости изменяется, на кривых имеются точки перегиба. Такое поведение хода кривых хорошо согласуется с литературными данными [1], чем меньше скорость диффузии ионов марганца в грануле, тем меньше скорость теплопоглощения, а время сорбции больше.

На основании данных калориметрических измерений был определен тип кинетики сорбции. Эти данные подтверждают гелевый тип кинетики. Обработка результатов

исследования проводились с использованием уравнения [2]:

$$F = \theta_t / \theta_\infty = 1 - \frac{6}{\pi} \sum \frac{1}{n^2} \exp(-Bt n^2)$$

$$Bt = F_0 = -\frac{\bar{D}\pi^2 t}{r^2},$$

где Bt – безразмерный параметр хомохронности; θ_t и θ_∞ – соответственно степень насыщения ионита через t секунд и бесконечно большое время; F – степень обмена или степень достижения равновесия; $\bar{D}$ – коэффициент диффузии (взаимодиффузии), см²/с; r – радиус зерна ионита, мм; t – время, с; n – ряд целых чисел 1, 2, 3, 4, 5, ...

В соответствии с этим уравнением линейная зависимость Bt от t служит доказательством того, что скоростью определяющей стадией процесса ионного обмена является диффузия внутри зерна ионита. На рис. 5. приведены кинетические кривые сорбции и зависимость $Bt = f(t)$. Для всех исследованных систем наблюдается линейная зависимость. Это дает основание считать, что скорость процесса определяется диффузией в гель. Рассчитанные коэффициенты диффузии приведены в табл. 1.

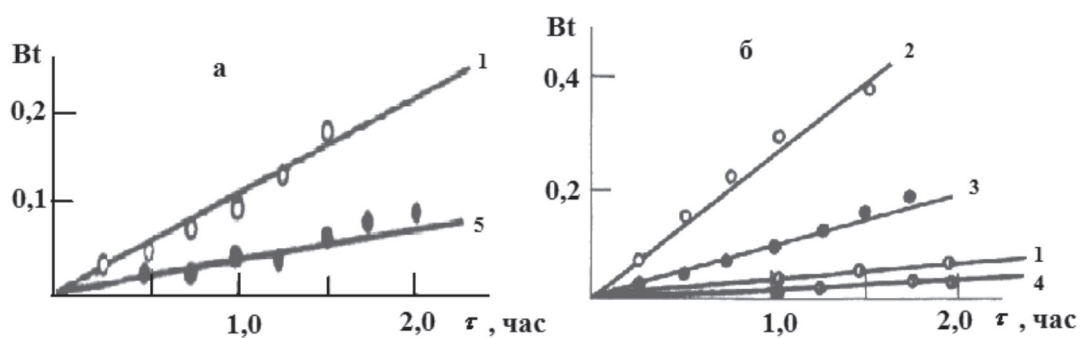


Рис. 5. Зависимость Bt от t при сорбции ионов марганца катионитом КФП-12 в H^+ - (а) и NH_4^+ - (б) формах. Концентрация ионов марганца, моль/дм³: 0,002 (1), 0,008 (2), 0,017 (3), 0,027 (4), 0,032 (5)

Таблица 1

Значения коэффициентов диффузии процесса сорбции ионов из растворов $MnF_2 - H_2O$ катионитом КФП-12

Система	C , ммоль/см ³	$\bar{D} \cdot 10^8$, см ² /с
H^+ – форма		
MnF_2	0,002	0,2
	0,027	0,9
NH_4^+ – форма		
MnF_2	0,002	0,8
	0,008	1,6
	0,017	6,1
	0,027	9,4

Как видно из табл. 1, значения коэффициентов диффузии увеличиваются с ростом концентрации ионов в растворе. Это может быть объяснено уменьшением вклада химической реакции образования комплексных соединений.

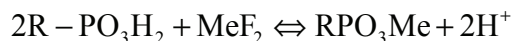
Калориметрические исследования дают возможность рассчитать и тепловой эффект (ΔH) при сорбции ионов катионитом. Значения теплового эффекта приведены в табл. 2.

Таблица 2

Изменение теплового эффекта реакции от степени заполнения двухзарядными катионами катионита КФП-12

Система	C , моль/дм ³	Степень заполнения	Измеренное ко- личество тепла	ΔH , кДж/моль
H^+ – форма				
MnF_2	0,002	0,017	-1476,330	-287,00
	0,005	0,050	-98,911	-3,46
	0,017	0,067	+449,913	+18,89
	0,027	0,1	+754,164	+14,62
	0,032	0,069	+1460,114	+33,63
	0,049	0,3	+1015,733	+9,64
NH_4^+ – форма				
MnF_2	0,005	0,100	+164,459	0,100
	0,009	0,137	+772,062	0,137
	0,017	0,150	+726,700	0,150
	0,027	0,367	+272,930	0,367
	0,032	0,300	+2293,925	0,300

Из результатов видно, что тепловой эффект сорбции из фторидных растворов зависит от степени заполнения катионита. Причем меняется не только величина, но и знак теплового эффекта. Такое влияние природы ионов можно объяснить тем, что в результате ионного обмена:



выделяется катион водорода, который может связываться с ионом фтора



Чтобы оценить энергию образования вторичных продуктов произвели термодинамический расчет предполагаемых веществ [3], табл. 3. В данном случае это могут быть не только молекулы фтористоводородной кислоты, а также различные по составу комплексные ионы фторидов металлов.

Таблица 3

Энергия образования вторичных продуктов в процессе сорбции ионов двухзарядных металлов

Система	ΔH_f , кДж/ моль					
	HF	MeF ⁺	MeF ₂	[MeF ₃] ⁻	[MeF ₄] ²⁻	[MeF ₆] ⁴⁻
MnF ₂	19,3	14,17	-28,34	42,51	56,68	85,02

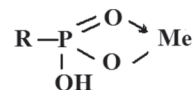
Из данных табл. 3. видно, что образование нейтральных молекул фторидов металлов и фтористоводородной кислоты идут с выделением тепла, а образование комплексных ионов с поглощением тепла. Таким образом, можно предположить, что в начальный момент сорбции изученных ионов из фторидных растворов катионитом КФП-12 на общий энергетический эффект процесса существенное влияние может оказать возможное образование фтористоводородной кислоты. Сравнивая данные калориметрических измерений при различных степенях заполнения катионита с учетом поправки на возможное образование фтористоводородной кислоты, можно сделать вывод, что это влияние будет возрастать с увеличением степени заполнения ионита и может привести даже к смене знака суммарного теплового эффекта.

Как показывают результаты табл. 2 для водородной формы катионита изменение степени заполнения приводит к изменению знака значения теплового эффекта.

При малых концентрациях ионов переходных металлов происходит реализация координационной связи (экзотермический процесс), сорбируемые ионы взаимодействуют с двумя фиксированными группами по схеме:



С увеличением концентрации ионов в растворе увеличиваются энергетические затраты системы, связанные с образованием структур



определенной стереохимии (эндотермический процесс).

Таким образом, микрокалориметрические исследования процесса сорбции ионов марганца катионитом КФП-12 дает большую информацию для определения механизма сорбции, изучения влияния различных факторов на кинетику процесса и состояния равновесия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Копылова В.Д., Вальдман А.И., Вальдман Д.И., Бойко Э.Т. // Теория и практика сорбционных процессов. – Воронеж, 1985. – № 17. – С. 33-39.
2. Кокотов Ю.А., Пасечник В.А. Равновесие и кинетика ионного обмена. – Л.: Химия, 1970. – 336 с.
3. Крестов Г.А. Термодинамика ионных процессов в растворах. – Л.: Химия, 1984. – 272 с.

Технические науки

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВА
ХП-470 С ЦЕЛЬЮ УЛУЧШЕНИЯ
ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА
ЦЕЛЕВОГО ПРОДУКТА**

Бобнева И.С., Анищенко О.В.

*Волгоградский государственный технический
университет, Волгоград,
e-mail: loko556@yandex.ru*

В результате анализа производства хлорпарафина марки ХП-470 путем хлорирования смеси парафина и фракции альфа-олефинов на действующем производстве были выявлены следующие недостатки: процесс термического хлорирования длительный 14-24 часов, имеет относительно высокие температуры проведения процесса $T=90-115^{\circ}\text{C}$, является энергоемким, а также при неэффективном перемешивании возможно увеличение вязкости среды и как следствие уменьшение скорости хлорирования, а также возможны локальные перегревы, что ухудшит качество продукта.

С целью улучшения качества целевого продукта предлагается хлорировать смесь парафинов и олефинов фракции $\text{C}_{14}-\text{C}_{32}$ в 50% соотношении в присутствии инициатора – азобисизобутиронитрила в количестве 0,1-0,3 мас. % от исходного сырья, в виде 0,5-2,0%-го раствора в хлорорганическом растворителе. В качестве растворителя использовать хлоруглеводороды фракции $\text{C}_{14}-\text{C}_{32}$ – полупродукт хлорирования. Обеспечение более полного протекания реакции за счет проведения хлорирования в присутствии инициатора позволит избежать наличия двойных связей в продукте, наличие которых влияет на цветность хлорпарафина [1].

Согласно проведенным экономическим расчетам в результате нововведения, произойдет снижение себестоимости единицы продукции на 13,5%, за счет снижения материальных затрат на 15,7% в результате изменения мольного соотношения реагентов – парафин:олефин в сторону использования олефинов, являющихся отходами процесса олигомеризации, а значит являющихся более дешевым сырьем.

Список литературы

1. Пат. 2266891 Россия, МПК⁷ C07 C 19/01, 17/10. Способ получения жидких хлорпарафинов / У.Ш. Рысаев [и др.]. – заявл. 21.05.2004; опубл. 27.12.2005.

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СТАДИИ
ВЫДЕЛЕНИЯ ХЛОРОФОРМА**

Рыбалка О.К., Анищенко О.В.

*Волгоградский государственный технический
университет, Волгоград, e-mail: loko556@yandex.ru*

В промышленности хлороформ производят термическим хлорированием метана, нагревая смесь хлора и метана в соотношении 1:4 до температуры 400–550°C. При этой температуре происходит серия химических реакций с образованием смеси продуктов, состоящая из метилхлорида, дихлорметана, хлороформа и тетрахлорметана. Разделение веществ осуществляется ректификацией.

В действующем производстве хлорметанов хлороформ подвергают очистке олеумом, затем нейтрализуют щелочным раствором и подвергают осушке методом азеотропной ректификации. Этот метод приводит к потерям хлороформа на всех стадиях очистки, кроме этого, он требует расхода реагентов (олеума, щелочи) и приводит к образованию отходов (отработанной серной кислоты и отработанного щелочного раствора).

Проблемой данного производства является то, что хлороформ содержит примеси хлоруглеводородов, трудноотделяемых обычной ректификацией, а именно: цис-1,2-дихлорэтилена с температурой кипения, отличающейся от температуры кипения хлороформа менее, чем на 1 градус, и 1,1-дихлорэтана с разницей температур кипения 4 градуса. Требования к чистоте хлороформа согласно ГОСТ 20015-88 очень высоки: общее содержание хлорорганических примесей не более 0,025%.

Для избежания данных проблем предлагается проводить очистку хлороформа в присутствии разделяющего агента монофенилгликоля, монофенилдигликоля или их смеси [1].

В результате возможно достигнуть повышение эффективности отделения хлороформа от примесей и снижение необходимых для этого энергозатрат, а точнее затрат на реагенты (олеум, щелочь), затрат на оборудование (отсутствие стадий этерификации хлороформа, очистки отработанного олеума), трудозатрат и отсутствие отходов в виде отработанной серной кислоты и отработанного щелочного раствора.

Список литературы

1. Патент 2332395C1 Россия, МПК C07C, 17/38 Способ очистки хлороформа. – заявл. 20.03.2007; опубл. 27.08.2008.

**В журнале Российской Академии Естествознания
«Современные наукоемкие технологии» публикуются:**

Журнал публикует обзорные и теоретические статьи, материалы международных научных конференций (тезисы докладов) по:

- 1. Физико-математическим наукам.**
- 2. Химическим наукам.**
- 3. Геолого-минералогическим наукам.**
- 4. Техническим наукам.**

Редакция журнала просит авторов при направлении статей в печать руководствоваться изложенными ниже правилами. Работы, присланные без соблюдения перечисленных правил, возвращаются авторам без рассмотрения.

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

По техническим наукам принимаются статьи по следующим направлениям:

- | | |
|----------|--|
| 05.02.00 | Машиностроение и машиноведение |
| 05.03.00 | Обработка конструкционных материалов в машиностроении |
| 05.04.00 | Энергетическое, металлургическое и химическое машиностроение |
| 05.05.00 | Транспортное, горное и строительное машиностроение |
| 05.09.00 | Электротехника |
| 05.11.00 | Приборостроение, метрология и информационно-измерительные приборы и системы |
| 05.12.00 | Радиотехника и связь |
| 05.13.00 | Информатика, вычислительная техника и управление |
| 05.16.00 | Металлургия |
| 05.17.00 | Химическая технология |
| 05.18.00 | Технология продовольственных продуктов |
| 05.20.00 | Процессы и машины агроинженерных систем |
| 05.21.00 | Технология, машины и оборудование лесозаготовок, лесного хозяйства, деревопереработки и химической переработки биомассы дерева |
| 05.22.00 | Транспорт |
| 05.23.00 | Строительство |
| 05.26.00 | Безопасность деятельности человека |

При написании и оформлении статей для печати редакция журнала просит придерживаться следующих правил.

1. В структуру статьи должны входить: введение (краткое), цель исследования, материал и методы исследования, результаты исследования и их обсуждение, выводы или заключение, список литературы.

2. Таблицы должны содержать только необходимые данные и представлять собой обобщенные и статистически обработанные материалы. Каждая таблица снабжается заголовком и вставляется в текст после абзаца с первой ссылкой на нее.

3. Количество графического материала должно быть минимальным (не более 5 рисунков). Каждый рисунок должен иметь подпись (под рисунком), в которой дается объяснение всех его элементов. Для построения графиков и диаграмм следует использовать программу Microsoft Office Excel. Каждый рисунок вставляется в текст как объект Microsoft Office Excel.

4. Библиографические ссылки в тексте статьи следует давать в квадратных скобках в соответствии с нумерацией в списке литературы. Список литературы для оригинальной статьи – не более 10 источников. Список литературы составляется в алфавитном порядке – сначала отечественные, затем зарубежные авторы и оформляется в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5 2008.

5. Объем статьи не должен превышать 8 страниц формата А4 (1 страница – 2000 знаков, шрифт 12 Times New Roman, интервал – 1,5, поля: слева, справа, верх, низ – 2 см), включая таблицы, схемы, рисунки и список литературы.

6. При предъявлении рукописи необходимо сообщать индексы статьи (УДК) по таблицам Универсальной десятичной классификации, имеющейся в библиотеках.

7. К рукописи должен быть приложен краткий реферат (резюме) статьи на русском и английском языках.

Реферат объемом до 10 строк должен кратко излагать предмет статьи и основные содержащиеся в ней результаты.

Реферат подготавливается на русском и английском языках.

Используемый шрифт – курсив, размер шрифта – 10 пт.

Реферат на английском языке должен в начале текста содержать заголовок (название) статьи, инициалы и фамилии авторов также на английском языке.

8. Обязательное указание места работы всех авторов, их должностей и контактной информации.

9. Наличие ключевых слов для каждой публикации.

10. Указывается шифр основной специальности, по которой выполнена данная работа.

11. Редакция оставляет за собой право на сокращение и редактирование статей.

12. Статья должна быть набрана на компьютере в программе Microsoft Office Word в одном файле.

13. В редакцию по электронной почте edition@rae.ru необходимо предоставить публикуемые материалы, сопроводительное письмо и копию платежного документа. Оригиналы запрашиваются редакцией при необходимости.

14. Рукописи статей, оформленные не по правилам не рассматриваются. Присланные рукописи обратно не возвращаются. Не допускается направление в редакцию работ, которые посланы в другие издания или напечатаны в них.

ОБРАЗЕЦ ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЬИ

УДК 615.035.4

ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЕРИОДА ТИТРАЦИИ ДОЗЫ ВАРФАРИНА У ПАЦИЕНТОВ С ФИБРИЛЛЯЦИЕЙ ПРЕДСЕРДИЙ. ВЗАИМОСВЯЗЬ С КЛИНИЧЕСКИМИ ФАКТОРАМИ

¹Шварц Ю.Г., ¹Артанова Е.Л., ¹Салеева Е.В., ¹Соколов И.М.

¹ГОУ ВПО «Саратовский Государственный медицинский университет им. В.И. Разумовского Минздравсоцразвития России», Саратов, Россия (410012, Саратов, ГСП ул. Большая Казачья, 112), e-mail: kateha007@bk.ru

Проведен анализ взаимосвязи особенностей индивидуального подбора терапевтической дозы варфарина и клинических характеристик у больных фибрилляцией предсердий. Учитывались следующие характеристики периода подбора дозы: окончательная терапевтическая доза варфарина в мг, длительность подбора дозы в днях и максимальное значение международного нормализованного отношения (МНО), зарегистрированное в процессе титрования. При назначении варфарина больным с фибрилляцией предсердий его терапевтическая доза, длительность ее подбора и колебания при этом МНО, зависят от следующих клинических факторов – инсульты в анамнезе, наличие ожирения, поражения щитовидной железы, курения, и сопутствующей терапии, в частности, применение амиодарона. Однако у пациентов с сочетанием ишемической болезни сердца и фибрилляции предсердий не установлено существенной зависимости особенностей подбора дозы варфарина от таких характеристик, как пол, возраст, количество сопутствующих заболеваний, наличие желчнокаменной болезни, сахарного диабета II типа, продолжительность аритмии, стойкости фибрилляции предсердий, функционального класса сердечной недостаточности и наличия стенокардии напряжения. По данным непараметрического корреляционного анализа изучаемые нами характеристики периода подбора терапевтической дозы варфарина не были значимо связаны между собой.

Ключевые слова: варфарин, фибрилляция предсердий, международное нормализованное отношение (МНО)

CHARACTERISTICS OF THE PERIOD DOSE TITRATION WARFARIN IN PATIENTS WITH ATRIAL FIBRILLATION. RELATIONSHIP WITH CLINICAL FACTORS

¹Shvarts Y.G., ¹Artanova E.L., ¹Saleeva E.V., ¹Sokolov I.M.

¹Saratov State Medical University n.a. V.I. Razumovsky, Saratov, Russia (410012, Saratov, street B.Kazachya, 112), e-mail: kateha007@bk.ru

We have done the analysis of the relationship characteristics of the individual selection of therapeutic doses of warfarin and clinical characteristics in patients with atrial fibrillation. Following characteristics of the period of selection of a dose were considered: a definitive therapeutic dose of warfarin in mg, duration of selection of a dose in days and the maximum value of the international normalised relation (INR), registered in the course of titration. Therapeutic dose of warfarin, duration of its selection and fluctuations in thus INR depend on the following clinical factors – a history of stroke, obesity, thyroid lesions, smoking, and concomitant therapy, specifically, the use of amiodarone, in cases of appointment of warfarin in patients with atrial fibrillation. However at patients with combination Ischemic heart trouble and atrial fibrillation it is not established essential dependence of features of selection of a dose of warfarin from such characteristics, as a sex, age, quantity of accompanying diseases, presence of cholelithic illness, a diabetes of II type, duration of an arrhythmia, firmness of fibrillation of auricles, a functional class of warm insufficiency and presence of a stenocardia of pressure. According to the nonparametric correlation analysis characteristics of the period of selection of a therapeutic dose of warfarin haven't been significantly connected among themselves.

Keywords: warfarin, atrial fibrillation, an international normalized ratio (INR)

Введение

Фибрилляция предсердий (ФП) – наиболее встречаемый вид аритмии в практике врача [7]. Инвалидизация и смертность больных с ФП остается высокой, особенно от ишемического инсульта и системные эмболии [4]...

Список литературы

1....

Список литературы

Единый формат оформления пристатейных библиографических ссылок в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5 2008 «Библиографическая ссылка»

(Примеры оформления ссылок и пристатейных списков литературы)

Статьи из журналов и сборников:

Адорно Т.В. К логике социальных наук // Вопр. философии. – 1992. – № 10. – С. 76-86.

Crawford P.J. The reference librarian and the business professor: a strategic alliance that works / P.J. Crawford, T. P. Barrett // Ref. Libr. – 1997. Vol. 3, № 58. – P. 75-85.

Заголовок записи в ссылке может содержать имена одного, двух или трех авторов документа. Имена авторов, указанные в заголовке, могут не повторяться в сведениях об ответственности.

Crawford P.J., Barrett T. P. The reference librarian and the business professor: a strategic alliance that works // Ref. Libr. 1997. Vol. 3. № 58. P. 75-85.

Если авторов четыре и более, то заголовок не применяют (ГОСТ 7.80-2000).

Корнилов В.И. Турбулентный пограничный слой на теле вращения при периодическом вдуве/отсосе // Теплофизика и аэромеханика. – 2006. – Т. 13, №. 3. – С. 369-385.

Кузнецов А.Ю. Консорциум – механизм организации подписки на электронные ресурсы // Российский фонд фундаментальных исследований: десять лет служения российской науке. – М.: Науч. мир, 2003. – С. 340-342.

Монографии:

Тарасова В.И. Политическая история Латинской Америки : учеб. для вузов. – 2-е изд. – М.: Проспект, 2006. – С. 305-412.

Допускается предписанный знак точку и тире, разделяющий области библиографического описания, заменять точкой.

Философия культуры и философия науки: проблемы и гипотезы : межвуз. сб. науч. тр. / Саратов. гос. ун-т; [под ред. С. Ф. Мартыновича]. Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 1999. – 199 с.

Допускается не использовать квадратные скобки для сведений, заимствованных не из предписанного источника информации.

Райзберг Б.А. Современный экономический словарь / Б.А. Райзберг, Л.У. Лозовский, Е.Б. Стародубцева. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: ИНФРА-М, 2006. – 494 с.

Заголовок записи в ссылке может содержать имена одного, двух или трех авторов документа. Имена авторов, указанные в заголовке, не повторяются в сведениях об ответственности. Поэтому:

Райзберг Б.А., Лозовский Л.Ш., Стародубцева Е.Б. Современный экономический словарь. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: ИНФРА-М, 2006. – 494 с.

Если авторов четыре и более, то заголовок не применяют (ГОСТ 7.80-2000).

Авторефераты

Глухов В.А. Исследование, разработка и построение системы электронной доставки документов в библиотеке: Автореф. дис. канд. техн. наук. – Новосибирск, 2000. □18 с.

Диссертации

Фенухин В. И. Этнополитические конфликты в современной России: на примере Северокавказского региона : дис.... канд. полит, наук. – М.. 2002. – С. 54-55.

Аналитические обзоры:

Экономика и политика России и государств ближнего зарубежья : аналит. обзор, апр. 2007 / Рос. акад. наук, Ин-т мировой экономики и междунар. отношений. – М. : ИМЭМО, 2007. – 39 с.

Патенты:

Патент РФ № 2000130511/28, 04.12.2000.

Еськов Д.Н., Бонштедт Б.Э., Корешев С.Н., Лебедева Г.И., Серегин А.Г. Оптико-электронный аппарат // Патент России № 2122745.1998. Бюл. № 33.

Материалы конференций

Археология: история и перспективы: сб. ст. Первой межрегион, конф. Ярославль, 2003. 350 с.

Марьянских Д.М. Разработка ландшафтного плана как необходимое условие устойчивого развития города (на примере Тюмени) // Экология ландшафта и планирование землепользования: тезисы докл. Всерос. конф. (Иркутск, 11-12 сент. 2000 г.). – Новосибирск, 2000. – С. 125-128.

Интернет-документы:

Официальные периодические издания : электронный путеводитель / Рос. нац. б-ка, Центр правовой информации. [СПб.], 20052007. URL: <http://www.nlr.ru/lawcenter/izd/index.html> (дата обращения: 18.01.2007).

Логинова Л. Г. Сущность результата дополнительного образования детей // Образование: исследовано в мире: междунар. науч. пед. интернет-журн. 21.10.03. URL: <http://www.oim.ru/reader.asp?nomers=366> (дата обращения: 17.04.07).

Рынок тренингов Новосибирска: своя игра [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://nsk.adme.ru/news/2006/07/03/2121.html> (дата обращения: 17.10.08).

Литчфорд Е. У. С Белой Армией по Сибири [Электронный ресурс] // Восточный фронт Армии Генерала А. В. Колчака: сайт. – URL: <http://east-front.narod.ru/memo/latchford.htm> (дата обращения 23.08.2007).

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

Краткие сообщения представляются объемом не более 1 стр. машинописного текста без иллюстраций. Электронный вариант краткого сообщения может быть направлен по электронной почте edition@rae.ru.

ФИНАНСОВЫЕ УСЛОВИЯ

Статьи, представленные членами Академии (профессорами РАЕ, членами-корреспондентами, действительными членами с указанием номера диплома) публикуются на льготных условиях. Члены РАЕ могут представить на льготных условиях не более одной статьи в номер.

Для членов РАЕ стоимость одной публикации – 350 рублей.

Для других специалистов (не членов РАЕ) стоимость одной публикации – 1250 рублей.

Публикация для аспирантов бесплатно (единственный автор).

Краткие сообщения публикуются без ограничений количества представленных материалов от автора (300 рублей для членов РАЕ и 400 рублей для других специалистов). Краткие сообщения, как правило, не рецензируются. Материалы кратких сообщений могут быть отклонены редакцией по этическим соображениям, а также в виду явного противоречия здравому смыслу. Краткие сообщения публикуются в течение двух месяцев.

Оплата вносится перечислением на расчетный счет.

Получатель ИНН 5837035110 КПП 583701001 ООО «Издательство «Академия Естествознания»	Сч. №	40702810822000010498
Банк получателя АКБ «АБСОЛЮТ БАНК» (ЗАО) г. Москва	БИК	044525976
	Сч. №	30101810500000000976

Назначение платежа: Издательские услуги. Без НДС. ФИО.

Публикуемые материалы, сопроводительное письмо, копия платежного документа направляются по адресу:

– г. Москва, 105037, а/я 47, АКАДЕМИЯ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ, редакция журнала «СОВРЕМЕННЫЕ НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ» (для статей)

или

– по электронной почте: edition@rae.ru. При получении материалов для опубликования по электронной почте в течение семи рабочих дней редакцией высылается подтверждение о получении работы.

☎ (499)-7041341, (8452)-477677,

(8452)-534116

Факс (8452)-477677

✉ stukova@rae.ru;

edition@rae.ru

<http://www.rae.ru>;

<http://www.congressinform.ru>

**Библиотеки, научные и информационные организации,
получающие обязательный бесплатный экземпляр печатных изданий**

№ п/п	Наименование получателя	Адрес получателя
1.	Российская книжная палата	121019, г. Москва, Кремлевская наб., 1/9
2.	Российская государственная библиотека	101000, г. Москва, ул. Воздвиженка, 3/5
3.	Российская национальная библиотека	191069, г. Санкт-Петербург, ул. Садовая, 18
4.	Государственная публичная научно-техническая библиотека Сибирского отделения Российской академии наук	630200, г. Новосибирск, ул. Восход, 15
5.	Дальневосточная государственная научная библиотека	680000, г. Хабаровск, ул. Муравьева-Амурского, 1/72
6.	Библиотека Российской академии наук	199034, г. Санкт-Петербург, Биржевая линия, 1
7.	Парламентская библиотека аппарата Государственной Думы и Федерального собрания	103009, г. Москва, ул. Охотный ряд, 1
8.	Администрация Президента Российской Федерации. Библиотека	103132, г. Москва, Старая пл., 8/5
9.	Библиотека Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова	119899, г. Москва, Воробьевы горы
10.	Государственная публичная научно-техническая библиотека России	103919, г. Москва, ул. Кузнецкий мост, 12
11.	Всероссийская государственная библиотека иностранной литературы	109189, г. Москва, ул. Николоямская, 1
12.	Институт научной информации по общественным наукам Российской академии наук	117418, г. Москва, Нахимовский пр-т, 51/21
13.	Библиотека по естественным наукам Российской академии наук	119890, г. Москва, ул. Знаменка 11/11
14.	Государственная публичная историческая библиотека Российской Федерации	101000, г. Москва, Центр, Старосадский пер., 9
15.	Всероссийский институт научной и технической информации Российской академии наук	125315, г. Москва, ул. Усиевича, 20
16.	Государственная общественно-политическая библиотека	129256, г. Москва, ул. Вильгельма Пика, 4, корп. 2
17.	Центральная научная сельскохозяйственная библиотека	107139, г. Москва, Орликов пер., 3, корп. В
18.	Политехнический музей. Центральная политехническая библиотека	101000, г. Москва, Политехнический пр-д, 2, п. 10
19.	Московская медицинская академия имени И.М. Сеченова, Центральная научная медицинская библиотека	117418, г. Москва, Нахимовский пр-кт, 49
20.	ВИНИТИ РАН (отдел комплектования)	125190, г. Москва, ул. Усиевича, 20, комн. 401.

УВАЖАЕМЫЕ АВТОРЫ!

ДЛЯ ВАШЕГО УДОБСТВА ПРЕДЛАГАЕМ РАЗЛИЧНЫЕ СПОСОБЫ
ПОДПИСКИ НА ЖУРНАЛ «СОВРЕМЕННЫЕ НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ»

Стоимость подписки

На 1 месяц (2012 г.)	На 6 месяцев (2012 г.)	На 12 месяцев (2012 г.)
720 руб. (один номер)	4320 руб. (шесть номеров)	8640 руб. (двенадцать номеров)

Заполните приведенную ниже форму и оплатите в любом отделении сбербанка.

✕

Извещение	СБЕРБАНК РОССИИ <i>Форма № ПД-4</i>		
	ООО «Издательство «Академия Естествознания»		
	(наименование получателя платежа)		
	ИНН 5837035110	40702810822000010498	
	(ИНН получателя платежа)	(номер счёта получателя платежа)	
	АКБ «АБСОЛЮТ БАНК» (ЗАО) г. Москва		
	(наименование банка получателя платежа)		
	БИК 044525976	30101810500000000976	
	КПП 583701001	(№ кор./сч. банка получателя платежа)	
	Кассир	Ф.И.О. плательщика _____	
Адрес плательщика _____			
Подписка на журнал «_____»			
(наименование платежа)			
Сумма платежа _____ руб. _____ коп.		Сумма оплаты за услуги _____ руб. _____ коп.	
Итого _____ руб. _____ коп.		«_____» _____ 201_г.	
С условиями приёма указанной в платёжном документе суммы, в т.ч. суммой взимаемой платы за услуги банка, ознакомлен и согласен			
Подпись плательщика _____			
Квитанция		СБЕРБАНК РОССИИ <i>Форма № ПД-4</i>	
		ООО «Издательство «Академия Естествознания»	
	(наименование получателя платежа)		
	ИНН 5837035110	40702810822000010498	
	(ИНН получателя платежа)	(номер счёта получателя платежа)	
	АКБ «АБСОЛЮТ БАНК» (ЗАО) г. Москва		
	(наименование банка получателя платежа)		
	БИК 044525976	30101810500000000976	
	КПП 583701001	(№ кор./сч. банка получателя платежа)	
	Кассир	Ф.И.О. плательщика _____	
Адрес плательщика _____			
Подписка на журнал «_____»			
(наименование платежа)			
Сумма платежа _____ руб. _____ коп.		Сумма оплаты за услуги _____ руб. _____ коп.	
Итого _____ руб. _____ коп.		«_____» _____ 201_г.	
С условиями приёма указанной в платёжном документе суммы, в т.ч. суммой взимаемой платы за услуги банка, ознакомлен и согласен			
Подпись плательщика _____			

✕

Копию документа об оплате вместе с подписной карточкой необходимо выслать по факсу 845-2-47-76-77 или **E-mail: stukova@rae.ru**

Подписная карточка

Ф.И.О. ПОЛУЧАТЕЛЯ (ПОЛНОСТЬЮ)	
АДРЕС ДЛЯ ВЫСЫЛКИ ЗАКАЗНОЙ КОРРЕСПОНДЕНЦИИ (ИНДЕКС ОБЯЗАТЕЛЬНО)	
НАЗВАНИЕ ЖУРНАЛА (укажите номер и год)	
Телефон (указать код города)	
E-mail, ФАКС	

ЗАКАЗ ЖУРНАЛА «СОВРЕМЕННЫЕ НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ»

Для приобретения журнала необходимо:

1. Оплатить заказ.
2. Заполнить форму заказа журнала.
3. Выслать форму заказа журнала и сканкопию платежного документа в редакцию журнала по **E-mail: stukova@rae.ru**.

Стоимость одного экземпляра журнала (с учетом почтовых расходов):

Для физических лиц – 615 рублей

Для юридических лиц – 1350 рублей

Для иностранных ученых – 1000 рублей

ФОРМА ЗАКАЗА ЖУРНАЛА

Информация об оплате способ оплаты, номер платежного документа, дата оплаты, сумма	
Сканкопия платежного документа об оплате	
ФИО получателя полностью	
Адрес для высылки заказной корреспонденции индекс обязательно	
ФИО полностью первого автора запрашиваемой работы	
Название публикации	
Название журнала, номер и год	
Место работы	
Должность	
Ученая степень, звание	
Телефон (указать код города)	
E-mail	

Особое внимание обратите на точность почтового адреса с индексом, по которому вы хотите получать издания. На все вопросы, связанные с подпиской, Вам ответят по телефону: 845-2-47-76-77.

По запросу (факс 845-2-47-76-77, E-mail: stukova@rae.ru) высылается счет для оплаты подписки и счет-фактура.

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ (РАЕ)**РАЕ зарегистрирована 27 июля 1995 г.****в Главном Управлении Министерства Юстиции РФ в г. Москва**

Академия Естествознания рассматривает науку как национальное достояние, определяющее будущее нашей страны и считает поддержку науки приоритетной задачей. Важнейшими принципами научной политики Академии являются:

- опора на отечественный потенциал в развитии российского общества;
- свобода научного творчества, последовательная демократизация научной сферы, обеспечение открытости и гласности при формировании и реализации научной политики;
- стимулирование развития фундаментальных научных исследований;
- сохранение и развитие ведущих отечественных научных школ;
- создание условий для здоровой конкуренции и предпринимательства в сфере науки и техники, стимулирование и поддержка инновационной деятельности;
- интеграция науки и образования, развитие целостной системы подготовки квалифицированных научных кадров всех уровней;

– защита прав интеллектуальной собственности исследователей на результаты научной деятельности;

– обеспечение беспрепятственного доступа к открытой информации и прав свободного обмена ею;

– развитие научно-исследовательских и опытно-конструкторских организаций различных форм собственности, поддержка малого инновационного предпринимательства;

– формирование экономических условий для широкого использования достижений науки, содействие распространению ключевых для российского технологического уклада научно-технических нововведений;

– повышение престижности научного труда, создание достойных условий жизни ученых и специалистов;

– пропаганда современных достижений науки, ее значимости для будущего России;

– защита прав и интересов российских ученых.

ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ АКАДЕМИИ

1. Содействие развитию отечественной науки, образования и культуры, как важнейших условий экономического и духовного возрождения России.

2. Содействие фундаментальным и прикладным научным исследованиям.

3. Содействие сотрудничеству в области науки, образования и культуры.

СТРУКТУРА АКАДЕМИИ

Региональные отделения функционируют в 61 субъекте Российской Федерации. В составе РАЕ 24 секции: физико-математические науки, химические науки, биологические науки, геолого-минералогические науки, технические науки, сельскохозяйственные науки, географические науки, педагогические науки, медицинские науки, фармацевтические науки, ветеринарные науки, экономические науки, философские науки, проблемы развития ноосферы, экология животных, исторические науки, регионоведение, психологические науки, экология и здоровье населения, юридические науки, культурология и искусствоведение, экологические технологии, филологические науки.

Членами Академии являются более 5000 человек. В их числе 265 действитель-

ных членов академии, более 1000 членов-корреспондентов, 630 профессоров РАЕ, 9 советников. Почетными академиками РАЕ являются ряд выдающихся деятелей науки, культуры, известных политических деятелей, организаторов производства.

В Академии представлены ученые России, Украины, Белоруссии, Узбекистана, Туркменистана, Германии, Австрии, Югославии, Израиля, США.

В состав Академии Естествознания входят (в качестве коллективных членов, юридически самостоятельных подразделений, дочерних организаций, ассоциированных членов и др.) общественные, производственные и коммерческие организации. В Академии представлено около 350 вузов, НИИ и других научных учреждений и организаций России.

ЧЛЕНСТВО В АКАДЕМИИ

Уставом Академии установлены следующие формы членства в академии.

1) профессор Академии

2) коллективный член Академии

3) советник Академии

4) член-корреспондент Академии

5) действительный член Академии (академик)

6) почетный член Академии (почетный академик)

Ученое звание профессора РАЕ присваивается преподавателям высших и средних учебных заведений, лицеев, гимназий, колледжей, высококвалифицированным специалистам (в том числе и не имеющим ученой степени) с целью признания их достижений в профессиональной, научно-педагогической деятельности и стимулирования развития инновационных процессов.

Коллективным членом может быть региональное отделение (межрайонное объединение), включающее не менее 5 человек и выбирающее руководителя объединения. Региональные отделения могут быть как юридическими, так и не юридическими лицами.

Членом-корреспондентом Академии могут быть ученые, имеющие степень доктора наук, внесшие значительный вклад в развитие отечественной науки.

Действительным членом Академии могут быть ученые, имеющие степень доктора наук, ученое звание профессора и ранее избранные членами-корреспондентами РАЕ, внесшие выдающийся вклад в развитие отечественной науки.

Почетными членами Академии могут быть отечественные и зарубежные специалисты, имеющие значительные заслуги в развитии науки, а также особые заслуги перед Академией. Права почетных членов Академии устанавливаются Президиумом Академии.

С подробным перечнем документов можно ознакомиться на сайте www.rae.ru

ИЗДАТЕЛЬСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

Региональными отделениями под эгидой Академии издаются: монографии, материалы конференций, труды учреждений (более 100 наименований в год).

Издательство Академии Естествознания выпускает шесть общероссийских журналов:

1. «Успехи современного естествознания»
2. «Современные наукоемкие технологии»
3. «Фундаментальные исследования»

4. «Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований»

5. «Международный журнал экспериментального образования»

6. «Современные проблемы науки и образования»

Издательский Дом «Академия Естествознания» принимает к публикации монографии, учебники, материалы трудов учреждений и конференций.

ПРОВЕДЕНИЕ НАУЧНЫХ ФОРУМОВ

Ежегодно Академией проводится в России (Москва, Кисловодск, Сочи) и за рубежом (Италия, Франция, Турция, Египет, Та-

иланд, Греция, Хорватия) научные форумы (конгрессы, конференции, симпозиумы). План конференций – на сайте www.rae.ru.

ПРИСУЖДЕНИЕ НАЦИОНАЛЬНОГО

СЕРТИФИКАТА КАЧЕСТВА РАЕ

Сертификат присуждается по следующим номинациям:

- Лучшее производство – производители продукции и услуг, добившиеся лучших успехов на рынке России;
- Лучшее научное достижение – коллективы, отдельные ученые, авторы приоритетных научно-исследовательских, научно-технических работ;

- Лучший новый продукт – новый вид продукции, признанный на российском рынке;

- Лучшая новая технология – разработка и внедрение в производство нового технологического решения;

- Лучший информационный продукт – издания, справочная литература, информационные издания, монографии, учебники.

Условия конкурса на присуждение «Национального сертификата качества» на сайте РАЕ www.rae.ru.

С подробной информацией о деятельности РАЕ (в том числе с полными текстами общероссийских изданий РАЕ) можно ознакомиться на сайте РАЕ – www.rae.ru

105037, г. Москва, а/я 47,
Российская Академия Естествознания.

E-mail: stukova@rae.ru
edition@rae.ru